



**TUGAS AKHIR - RG141536**

**ANALISIS DEFLEKSI VERTIKAL JEMBATAN SURAMADU  
MENGUNAKAN *GPS CORS(CONTINUOUSLY OPERATING  
REFERENCE STATION)***

I Dewa Gede Putra Wirawan  
NRP 3512 100 089

Dosen Pembimbing :  
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, PhD

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL ASSIGNMENT - RG141536**

**ANALYSIS OF VERTICAL DEFLECTION SURAMADU  
BRIDGE USING *GPS CORS* (CONTINUOUSLY OPERATING  
REFERENCE STATION)**

I Dewa Gede Putra Wirawan  
NRP 3512 100 089

Supervisor :  
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, PhD

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS DEFLEKSI VERTIKAL JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN *GPS CORS (CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATION)*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**I DEWA GEDE PUTRA NUR SWAN**

NRP 352100689

Disetujui oleh Pembimbing:

1. Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 1981 1223 2005 01 1002



SURABAYA, Juni 2016

**ANALYSIS OF VERTICAL DEFLECTION SURAMADU  
BRIDGE USING GPS CORS (CONTINUOUSLY OPERATING  
REFERENCE STATION)**

**Name** : I Dewa Gede Putra Wirawan  
**NRP** : 3512 100 089  
**Department** : Geomatics Engineering  
**Supervisor** : Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc,  
PhD

**ABSTRACT**

*The bridge suffered long term and short term deformation. Long term deformation can not return to its original shape. Short term deformation (deflection) is a deformed object will return to its original position and shape if detached from its cargo. Suramadu Bridge connect Java Island and Madura Island, which was inaugurated on June 10<sup>th</sup>, 2009. To control and monitor the bridge, Suramadu Bridge have a system called SHMS (Structural Health Monitoring System).*

*In this research, we analyze the result of GPS measurement on July 1<sup>st</sup> until July 31<sup>st</sup>, 2015. To obtain a high position, three GPS antenna were placed in the main bridge and tied with one GPS reference station. For the satellite navigation orbit data we use IGS precise ephemeris in SP3 format. The result of GPS measurement obtained are high position within interval 30 seconds.*

*In this study, the value of vertical deflection on July 1<sup>st</sup> until July 31<sup>st</sup>, 2015 on the three GPS antenna located on the middle span of the bridge are a maximum deflection GPS 1 0.2296 m upwards and 0.3184 m downwards from the high point of reference, the maximum deflection GPS 4 0.3315 upwards and 0.3296 downwards from a high point of reference, and the maximum deflection GPS 6 0.1229 m upwards and 0.2949*

*downwards from a high point of reference. It can be concluded Suramadu vertical deflection value of the measurement using the GPS still meet the tolerances are less then 1,085 m.*

***Keywords : Deflection, SHMS, GPS, High Point Reference***

**ANALISIS DEFLEKSI VERTIKAL JEMBATAN  
SURAMADU MENGGUNAKAN GPS CORS  
(CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATION)**

**Nama Mahasiswa** : I Dewa Gede Putra Wirawan  
**NRP** : 3512 100 089  
**Jurusan** : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc,  
PhD

**ABSTRAK**

*Jembatan mengalami adanya deformasi jangka panjang maupun jangka pendek. Deformasi jangka panjang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya. Deformasi jangka pendek (defleksi) yaitu objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuk semula jika terlepas dari muatannya. Jembatan Suramadu menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Madura yang diresmikan pada 10 Juni 2009. Jembatan Suramadu mempunyai sebuah sistem untuk melakukan monitoring dan controlling yaitu Structural Health Monitoring System (SHMS) Jembatan Suramadu.*

*Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran GPS yang terdapat pada Jembatan Suramadu pada tanggal 1 – 31 Juli 2015. Untuk memperoleh hasil posisi tinggi maka 3 antenna GPS Ditempatkan pada bentang tengah Jembatan Suramadu dan diikatkan pada satu titik ikat. Data navigasi orbit satelit menggunakan IGS precise ephemeris dalam format SP3. Hasil yang didapatkan adalah posisi tinggi setiap epoch yaitu 30 detik.*

*Dalam penelitian ini didapatkan nilai defleksi vertikal pada rentang 1-31 Juli 2015 pada ketiga antenna GPS yang terdapat pada bentang tengah jembatan adalah defleksi maksimal GPS 1 ke*

*arah atas atas 0.2296 m dan ke arah bawah 0.3184 m dari titik tinggi acuan, defleksi maksimal GPS 4 ke arah atas atas 0.3315 dan ke arah bawah 0.3296 dari titik tinggi acuan, dan defleksi maksimal GPS 6 ke arah atas atas 0.1229 dan ke arah bawah 0.2949 dari titik tinggi acuan. Sehingga dapat disimpulkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu dari pengukuran menggunakan GPS masih memenuhi toleransi yaitu kurang dari 1.085 m.*

***Kata kunci :Defleksi, SHMS, GPS, titik tinggi acuan.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya yang berupa keimanan, kemudahan dan pertolongan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Defleksi Vertikal Jembatan Suramadu Menggunakan *GPS CORS (Continuosly Operating Reference Station)*”.

Selesaiannya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, karena itu penulis sampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selesainya tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang sudah memberikan bantuan dan dukungannya baik secara moril maupun materil yang tak pernah putus.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika dan selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis. Terima kasih atas kesempatan, bimbingan serta dukungan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Bapak Khomsin, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir
4. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Teknik Geomatika ITS, yang telah memberikan semangat, harapan, dukungan, ilmu dan bimbingannya.
5. Pihak laboran yang telah membantu pengolahan data, terutama Bapak Basofi dan seluruh staff Teknik Geomatika ITS yang telah membantu dalam proses administrasi tugas akhir.
6. Bapak Akbar Kurniawan ST, MT yang telah membagi ilmunya, membantu pengolahan data.
7. Seluruh warga *HIMAGE-ITS* terlebih Big Family G14 yang telah memberikan rasa persaudaraan dan nyaman saat pengerjaan tugas akhir.



8. BBPJN V (Balai Besar Pelaksana Jalan dan Jembatan) yang telah memberikan izin penggunaan data pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu.
9. Semua pihak yang telah membantu , yang tidak mungkin penulis sebutkan satu per satu

Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun penulis harapkan untuk pebaikan di masa yang akan datang.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| Halaman Judul   |       |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                     | v     |
| ABSTRACT .....  | vii   |
| ABSTRAK .....   | ix    |
| KATA PENGANTAR .....  | xi    |
| DAFTAR ISI .....  | xiii  |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xvii  |
| DAFTAR TABEL .....  | xix   |
| DAFTAR RUMUS .....  | xxi   |
| DAFTAR DIAGRAM .....  | xxiii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                       | xxv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                     | 1     |
| 1.1 Latar Belakang .....                                    | 1     |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                 | 2     |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                   | 3     |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                 | 3     |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                | 4     |
| BAB II DASAR TEORI .....                                    | 5     |
| 2.1 Jembatan Suramadu .....                                 | 5     |
| 2.2 <i>Structural Health Monitoring System (SHMS)</i> ..... | 7     |
| 2.2.1 Paramater yang Diukur .....                           | 9     |
| 2.3 Deformasi .....   | 9     |
| 2.3.1 Defleksi Vertikal .....                               | 10    |
| 2.4 <i>Global Positioning System</i> .....                  | 12    |
| 2.4.1 <i>Segmen GPS</i> .....                               | 12    |
| 2.4.2 Sinyal <i>GPS</i> .....                               | 14    |
| 2.4.3 Metode dan Prinsip Pengukuran <i>GPS</i> .....        | 15    |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.4 Ketelitian Posisi dengan <i>GPS</i> .....                 | 19 |
| 2.4.5 Kesalahan dan bias .....                                  | 20 |
| 2.4.6 <i>Software</i> Pengolah ( <i>GAMIT/GLOBK</i> ) .....     | 23 |
| 2.5 Sistem Koordinat.....                                       | 25 |
| 2.5.1 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik .        | 28 |
| 2.6 Pembebanan Pada Jembatan .....                              | 29 |
| 2.6.1 Beban Mati.....   | 29 |
| 2.6.2 Beban Hidup .....   | 30 |
| 2.7 Distribusi Normal.....                                      | 31 |
| 2.8 Analisa Korelasi.....                                       | 32 |
| 2.9 Spesifikasi Alat .....                                      | 32 |
| 2.10 Penelitian Terdahulu.....                                  | 35 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....                              | 37 |
| 3.1 Lokasi Tugas Akhir.....                                     | 37 |
| 3.2 Data dan Peralatan.....                                     | 37 |
| 3.2.1 Data.....   | 37 |
| 3.2.2 Peralatan.....  | 38 |
| 3.4 Tahapan Penelitian .....                                    | 39 |
| 3.4 Tahapan Pengolahan Data .....                               | 42 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                               | 51 |
| 4.1 Hasil Pengolahan Titik Fix <i>Base</i> Suramadu .....       | 51 |
| 4.3 Hasil Pengolahan Tinggi <i>Rover</i> Acuan .....            | 52 |
| 4.3.1 Pengolahan dengan <i>GAMIT</i> .....                      | 54 |
| 4.3.2 Hasil Pengolahan <i>GLOBK</i> .....                       | 55 |
| 4.3 Hasil Pengolahan Data <i>Rover</i> dengan Metode Kinematic. | 58 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.1 Hasil Pengolahan Data <i>GPS</i> 1 Juli 2015 .....                | 59  |
| 4.4 Menghilangkan Data <i>Outliers</i> .....                            | 63  |
| 4.4.1 Hasil Pengolahan Data <i>GPS</i> 1 Juli 2015 .....                | 63  |
| 4.5 Analisis Korelasi Defleksi Vertikal dengan Beban<br>Kendaraan ..... | 69  |
| 4.6 Analisis Hasil Pengolahan <i>GPS</i> dengan Batas Defleksi ...      | 73  |
| 4.7 Analisis Defleksi dengan Penelitian Terdahulu .....                 | 76  |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....  | 79  |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 79  |
| 5.2 Saran .....   | 80  |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 81  |
| LAMPIRAN .....  | 83  |
| BIODATA PENULIS .....   | 119 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Lokasi Jembatan Suramadu .....                                    | 5  |
| Gambar 2. 2 Jembatan Suramadu .....   | 6  |
| Gambar 2. 3 Desain Jembatan Suramadu .....                                    | 7  |
| Gambar 2. 4 Segmen Angkasa <i>GPS</i> .....                                   | 13 |
| Gambar 2. 5 Segmen <i>GPS</i> .....   | 14 |
| Gambar 2. 6 Contoh Penentuan Posisi Absolut 3D .....                          | 17 |
| Gambar 2. 7 Sistem Koordinat Kartesian 2D .....                               | 26 |
| Gambar 2. 8 Sistem Koordinat Kartesian 3D .....                               | 27 |
| Gambar 2. 9 Sistem Koordinat Polar .....                                      | 28 |
| Gambar 3. 1 Lokasi Jembatan Suramadu .....                                    | 37 |
| Gambar 3. 2 Ilustrasi Penempatan <i>Rover</i> pada Jembatan<br>Suramadu ..... | 38 |
| Gambar 4. 1 <i>Base GPS</i> Jembatan Suramadu .....                           | 51 |
| Gambar 4. 2 <i>Antenna Rover GPS</i> Jembatan Suramadu .....                  | 53 |
| Gambar 4. 3 Hasil <i>nrms</i> Pengolahan <i>GAMIT</i> .....                   | 54 |
| Gambar 4. 6 Hasil Pengolahan <i>GLOBK GPS 1</i> .....                         | 56 |
| Gambar 4. 7 Hasil Pengolahan <i>GLOBK GPS 4</i> .....                         | 56 |
| Gambar 4. 8 Hasil Pengolahan <i>GLOBK GPS 6</i> .....                         | 57 |
| Gambar 4. 9 Perintah pengolahan <i>track.cmd</i> .....                        | 58 |
| Gambar 4. 10 Hasil Pengolahan Kinematic <i>GPS 1</i> .....                    | 60 |
| Gambar 4. 11 Hasil Pengolahan Kinematic <i>GPS 4</i> .....                    | 61 |
| Gambar 4. 12 Hasil Pengolahan Kinematic <i>GPS 6</i> .....                    | 62 |
| Gambar 4. 13 Hasil Filtering <i>GPS 1</i> .....                               | 64 |
| Gambar 4. 14 Hasil Filtering <i>GPS 4</i> .....                               | 65 |
| Gambar 4. 15 Hasil Filtering <i>GPS 6</i> .....                               | 66 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Metode Penentuan Posisi Menggunakan GPS .....                      | 16 |
| Tabel 2. 2 Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai $r$ (Sudjana, 2002)<br>..... | 32 |
| Tabel 2. 3 Spesifikasi Teknik Leica GRX1200GG Pro .....                       | 33 |
| Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknik Receiver Leica GX1230 .....                     | 34 |
| Tabel 4. 1 Koordinat <i>Base</i> ITSS .....                                   | 52 |
| Tabel 4. 2 Data Koordinat <i>Base</i> Jembatan Suramadu .....                 | 52 |
| Tabel 4. 3 Koordinat <i>Rover GPS</i> .....                                   | 53 |
| Tabel 4. 4 Panjang <i>Baseline</i> Antar Titik .....                          | 53 |
| Tabel 4. 5 Tinggi <i>Rover</i> Acuan .....                                    | 57 |
| Tabel 4. 6 Data Pengolahan <i>GPS</i> 1 Juli 2015 .....                       | 59 |
| Tabel 4. 7 Hasil Pengolahan Data Setelah <i>Outliers</i> Dihilangkan          | 66 |
| Tabel 4. 8 Nilai Defleksi <i>GPS</i> 1 .....                                  | 73 |
| Tabel 4. 9 Nilai Defleksi <i>GPS</i> 4 .....                                  | 74 |
| Tabel 4. 10 Nilai Defleksi <i>GPS</i> 6 .....                                 | 75 |

**DAFTAR RUMUS**

Persamaan 2. 1.....12

Persamaan 2. 2..... 26

Persamaan 2. 3..... 26

Persamaan 2. 4..... 28

Persamaan 2. 5..... 28

Persamaan 2. 6..... 28

Persamaan 2. 7..... 29

Persamaan 2. 8..... 29

Persamaan 2. 9..... 29

Persamaan 2. 10..... 31

Persamaan 2. 11..... 31

Persamaan 2. 12..... 32

Persamaan 2. 13..... 32

Persamaan 4. 1..... 73

## **DAFTAR DIAGRAM**

|  |    |
|--|----|
| Diagram 3. 1 Metodologi Penelitian .....                             | 39 |
| Diagram 3. 2 Metodologi Pengolahan Data .....                        | 42 |
| Diagram 3. 3 Metodologi Pengolahan dengan sh_ <i>GAMIT</i> .....     | 45 |
| Diagram 3. 4 Metodologi Pengolahan dengan <i>Command Track</i> ..... | 49 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### **1.1 Latar Belakang**

Jembatan Nasional Suramadu adalah jembatan yang melintasi Selat Madura, menghubungkan Pulau Jawa ( Surabaya) dan Pulau Madura (Bangkalan, tepatnya timur Kamal), Indonesia dengan panjang 5438 m, Jembatan Suramadu merupakan jembatan terpanjang di Indonesia saat ini. Jembatan Suramadu terdiri dari tiga bagian yaitu jalan layang (*causeway*) dengan panjang 3276 m, jembatan penghubung (*approach bridge*) dengan panjang 1344 m, dan jembatan utama (*main bridge*) dengan panjang 434 meter . Tujuan dibangunnya Jembatan Suramadu adalah untuk mempercepat pembangunan di Pulau Madura meliputi bidang infrastruktur dan ekonomi.

Sebuah jembatan mempunyai ciri dua macam deformasi yang berbeda, yaitu deformasi jangka panjang yang disebabkan oleh pondasi, dek jembatan, dan tekanan regangan dan deformasi jangka pendek yang disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, dan lalu lintas. Deformasi jangka pendek disebut juga dengan defleksi. Disebut defleksi atau lendutan dikarenakan objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuk semula jika terlepas dari muatannya (Meng, 2002).

Penurunan kemampuan dari Jembatan Suramadu tidak dapat dihindarkan yang disebabkan oleh faktor lingkungan seperti gempa, pengoperasian yang tidak memadai, penuaan, dan kerusakan yang disebabkan oleh manusia yang dapat mengancam keamanan dari fungsi jembatan itu sendiri (Nababan, 2008). Oleh karena itu perlu adanya suatu sistem yang berfungsi untuk melakukan *monitoring* dan *controlling* yang dikenal dengan *SHMS* (*Structural Health Monitoring System*) adalah sistem *monitoring* dan *controlling* yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan

dengan metode pengujian tak rusak dengan cara mengintegrasikannya dengan stuktur untuk memonitor kesehatan dari jembatan secara keseluruhan maupun secara parsial. Teknologi ini dapat memperpanjang umur pelayanan jembatan karena penurunan kemampuan dan kerusakan dapat diidentifikasi lebih awal sebelum terjadinya kerusakan yang lebih parah (Nababan, 2008).

Dengan semakin majunya teknologi penentuan posisi dengan *GPS* yang dapat mencapai ketelitian hingga mm dan dengan tingkat perekaman data hingga 20 Hz bahkan lebih, maka teknologi *GPS* dapat digunakan untuk melakukan *monitoring* bangunan infrastruktur sipil seperti dam dan jembatan. Dalam pengukuran defleksi vertikal Jembatan Suramadu menggunakan *GPS* dengan metode *CORS*. Satu *base station* terdapat di Kantor *Suramadu Monitoring Building*, Bangkalan dan terdapat 14 *rover* yang terdapat di sepanjang bentang tengah Jembatan Suramadu. Waktu pengukuran dilakukan selama 24 jam penuh dengan interval perekaman data 30 detik.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran yang didapatkan dari pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu pada *GPS* nomor 1, 4 dan 6 yang diikatkan terhadap *base station* dengan data penunjang yaitu data navigasi informasi orbit satelit *IGS precise ephemeris* dalam format *SP3*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan posisi tinggi *antenna GPS* 1, 4, dan 6 pada sistem koordinat toposentrik sehingga akan didapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu untuk selanjutnya dianalisis terhadap batas toleransi maksimal Jembatan Suramadu pada bagian bentang tengah.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Berapa nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu yang didapatkan dari pengukuran *GPS* ?

- b. Apakah nilai defleksi vertikal jangka pendek Jembatan Suramadu memenuhi batas toleransi maksimal Jembatan Suramadu ?

### 1.3 **Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Wilayah studi berada di Jembatan Suramadu.
- b. Penelitian ini menggunakan data *RINEX* yang didapat dari pengukuran *GPS CORS* Jembatan Suramadu.
- c. Penelitian ini menggunakan satu *base station* sebagai titik ikat dan 3 *rover* yang terletak di bentang tengah Jembatan Suramadu.
- d. Pada penelitian ini digunakan referensi satu stasiun *GPS CORS ITSS* yang terletak di ITS Surabaya, Jurusan Teknik Geomatika untuk mendapatkan koordinat *fix base* Jembatan Suramadu.
- e. Tinggi permukaan netral awal didapatkan dari pengolahan *GPS* metode statik.
- f. Penelitian ini dilakukan pada periode 1-31 Juli 2015.
- g. Penelitian ini menggunakan data navigasi *IGS SP3 precise ephemeris*.
- h. Perangkat lunak pengolah *GPS* yang digunakan adalah *GAMIT/GLOBK*.
- i. Tinggi hasil pengukuran adalah tinggi toposentrik.

### 1.4 **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui besarnya nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu pada periode 1-31 Juli 2015.
- b. Analisis hasil nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu terhadap batas toleransi maksimal Jembatan Suramadu.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang akan diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah memberikan informasi yang nantinya bisa dijadikan acuan *monitoring* dan *controlling* jembatan yang akan sangat berguna untuk memenuhi standar kelayakan sebuah jembatan itu sendiri.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Jembatan Suramadu**

Jembatan Nasional Suramadu adalah jembatan yang melintasi Selat Madura, menghubungkan Pulau Jawa (di Surabaya) dan Pulau Madura (di Bangkalan, tepatnya timur Kamal), Indonesia.



Gambar 2. 1 Lokasi Jembatan Suramadu (Google Maps, 2015)

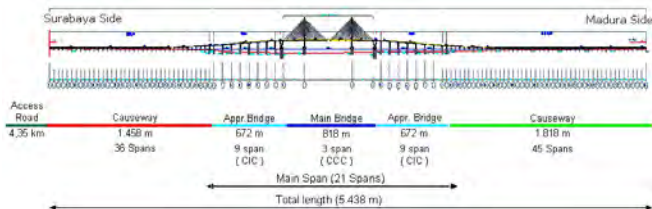
Karena menghubungkan dua pulau, Jembatan Suramadu didesain agar memungkinkan kapal-kapal dapat melintas di bawah jembatan, maka di bagian bentang tengah Suramadu disediakan ruang selebar 400 meter secara horizontal dengan tinggi sekitar 35 meter. Dengan panjang 5.438 m dan lebar  $2 \times 15.0$  meter, jembatan ini merupakan jembatan terpanjang di Indonesia saat ini. Pembangunan Suramadu menghabiskan sekitar 650.000 ton beton dan lebih kurang 50.000 ton besi baja.



Gambar 2. 2 Jembatan Suramadu (Sumber : Wikipedia, 2010)

Dengan panjang 5.438 m, jembatan ini merupakan jembatan terpanjang di Indonesia saat ini. Jembatan Suramadu terdiri dari tiga bagian yaitu jalan layang (*Causeway*), jembatan penghubung (*approach bridge*), dan jembatan utama (*main bridge*). Pembuatan jembatan ini dilakukan dari tiga sisi, baik sisi Bangkalan maupun sisi Surabaya. Sementara itu, secara bersamaan juga dilakukan pembangunan bentang tengah yang terdiri dari *main bridge* dan *approach bridge*. Jalan layang atau *Causeway* dibangun untuk menghubungkan konstruksi jembatan dengan jalan darat melalui perairan dangkal di kedua sisi. Jalan layang ini terdiri dari 36 bentang sepanjang 1.458 meter pada sisi Surabaya dan 45 bentang sepanjang 1.818 meter pada sisi Madura. *Approach bridge* adalah jembatan penghubung yang menghubungkan jembatan utama dengan jalan layang, yang masing-masing panjangnya 672 meter. Jembatan utama atau *main bridge* terdiri dari tiga bagian yaitu dua bentang samping sepanjang 192 meter dan satu bentang utama sepanjang 434 meter. *Main bridge* menggunakan konstruksi *cable stayed* yang ditopang oleh menara (*pylon*) kembar setinggi 140 meter. Lantai jembatan menggunakan konstruksi komposit

setebal 2,4 meter. Jembatan Suramadu memiliki kelandaian maksimum 3%.



Gambar 2. 3 Desain Jembatan Suramadu (Sumber : Bina Marga, 2008)

Jembatan *cable stayed* modern merupakan jembatan yang struktur atasnya (*superstructure*) terbuat dari baja atau beton yang ditumpu pada satu atau beberapa tempat dengan kabel yang terikat pada menara (*pylon*). Prinsip dasar dari jembatan *cable stayed* adalah penggunaan kabel-kabel berkekuatan tinggi sebagai perletakan elastis pada gelagar sehingga jembatan dapat mempunyai bentang yang panjang. Dalam perencanaan teknis jembatan *cable stayed*, setiap tahapan konstruksi jembatan, besarnya gaya-gaya dalam, tidak boleh melampaui kapasitas penampang dan pada tahap akhir pembebanan, perpindahan titik puncak tower dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi yang disyaratkan.

Pada jembatan *cable stayed*, lantai akan melendut pada tahap akhir pembebanan (beban konstruksi). Kabel sebagai penyangga beban lantai perlu diberi gaya pratekan dengan cara penarikan kabel sedemikian sehingga tidak terjadi lendutan pada lantai jembatan. Dengan dicapainya lendutan pada posisi “kabel” yang kecil, bidang momen dari lantai jembatan menjadi optimum. Demikian pula pada *pylon* yang menerima beban dari kabel, harus mengalami *displacement* sekecil mungkin dalam batas toleransi.

## **2.2 Structural Health Monitoring System (SHMS)**

SHMS didefinisikan sebagai “penggunaan secara *in-situ*”, penginderaan tak rusak dan analisis karakter struktur, termasuk respon struktur untuk mendeteksi perubahan yang

mengindikasikan adanya kerusakan atau penurunan kemampuan struktur.

Penggunaan *SHMS* ini telah dilaksanakan dengan sukses pada banyak jembatan didunia untuk memonitor kemampuan jembatan dalam jangka pendek dan panjang. Dengan perencanaan yang seksama didalam penempatan instrumen/sensor maka *SHMS* ini dapat mengumpulkan data yang diperlukan menyangkut kondisi jembatan; *stess*, *strain*, defleksi, temperatur, dan *time dependent properties* seperti *creep* dan *shrinkage* pada struktur.

Data tersebut juga dapat digunakan untuk mem-verifikasi asumsi asumsi yang dibuat dalam disain sehingga dapat dilakukan perbaikan pada disain jembatan berikutnya, menilai kondisi umum dari jembatan-jembatan, dan menyediakan data bagi infrastruktur manajemen sistem untuk pengambilan keputusan.

Dengan tersedianya teknologi untuk *SHMS* maka tantangan berikutnya adalah mendisain suatu *SHMS* yang seusi kebutuhan dengan jumlah dan spesifikasi sensorsensor yang tepat sehingga kondisi jembatan/infrastruktur dapat dimonitor dari remote secara terus-menerus dan benar-benar *cost-effective*.

Untuk itu perlu ditetapkan tujuan diadakannya *SHMS* pada suatu infrastruktur. Secara umum tujuan diadakannya *SHMS* adalah :

- a. Menyediakan data response dinamis dari struktur jembatan untuk verifikasi asumsi-asumsi disain yang digunakan untuk angin, dan gempa.
- b. Membuat sistim *monitoring* kesehatan jembatan yang andal sehingga memiliki fungsi pengecekan sendiri untuk memonitor adanya anomali di dalam sistem.
- c. Menyediakan data untuk analisis dan evaluasi kesehatan struktur jembatan.
- d. Menyediakan data untuk memperkirakan kerusakan struktur dan penurunan performa jembatan untuk menentukan jadwal inspeksi dan pemeliharaan periodik.
- e. Menyediakan data guna merubah tingkat keamanan lalu lintas yang disebabkan oleh gempa dan badai.



- f. Menyediakan data untuk memperkirakan keandalan struktur dan arus lalu lintas paska gempa dan badai.

### **2.2.1 Paramater yang Diukur**

Parameter yang diukur tergantung pada tingkat kritikal komponen infrastruktur yang perlu dimonitor. Pada umumnya parameter yang diukur antara lain *strain*, *stress*, deformasi dan vibrasi dengan menempatkan sensor-sensor dari jenis tertentu sesuai dengan parameter yang akan diukur pada tempat-tempat yang dianggap kritis (*Principle Structural Element*) yang membutuhkan pengamatan.

Pada jembatan Suramadu, parameter yang diukur adalah vibrasi untuk mengetahui pola getar dari badan jembatan, deformasi jembatan untuk mengetahui lendutan badan jembatan, strain untuk mengetahui regangan dari komponen-komponen utama jembatan, dan tegangan kabel.

Untuk mengukur getaran maka pada badan jembatan dipasang sensor *accelerometer*. Untuk mengukur regangan dipasang strain gauge pada girder baja dan beton. Untuk mengukur deformasi dan *displacement* digunakan *GPS*. Selain itu penggunaan *GPS* juga diperuntukkan untuk sinkronisasi waktu (*time stamp*). Untuk mengukur tegangan kabel digunakan *electromagnetic sensor*.

### **2.3 Deformasi**

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif.

Deformasi yang terjadi pada suatu materi mempunyai sifat gerakan yang dapat dikelompokkan dalam 2 macam sifat pergerakan, yaitu :

- a. Gerakan bersifat plastik, yaitu gerakan yang dilakukan oleh materi yang terdeformasi tidak kembali ke bentuk asalnya atau bentuk awal setelah gaya deformasi tersebut tidak bekerja padanya (setelah gaya dilepaskan).
- b. Gerakan bersifat elastik, yaitu gerakan yang dilakukan oleh materi yang terdeformasi kembali ke asalnya/bentuk awal setelah gaya deformasi tidak bekerja

Sebuah jembatan mencirikan dua macam deformasi yang berbeda, yaitu gerakan jangka panjang yang disebabkan oleh pondasi, dek jembatan dan tekanan regangan dan gerakan jangka pendek yg disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, gempa bumi dan lalu lintas . Tidak seperti deformasi jembatan jangka panjang, yang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya, deformasi jembatan jangka pendek disebut dengan defleksi (*deflection*). Disebut defleksi atau lendutan dikarenakan objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya. (Meng, 2002).

Dalam pembangunan dan perencanaan sipil, survei deformasi sangat bermanfaat untuk memprediksi umur (*lifetime*) suatu struktur yang sangat perlu dipantau, misalnya jembatan. Jembatan merupakan struktur yang sangat rentan terhadap deformasi karena beban yang berlebihan (*overload*) maupun karena pengaruh lainnya. Apabila deformasi tersebut tidak dipantau dengan baik, maka akan menyebabkan kerusakan yang menghabiskan banyak dana maupun korban jiwa yang seharusnya dapat dihindari.

### **2.3.1 Defleksi Vertikal**

Defleksi vertikal adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah z akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Defleksi pada balok dapat dengan mudah dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadinya defleksi.

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

- a. Kekakuan batang  
Semakin kaku suatu batang maka defleksi yang terjadi pada suatu batang akan semakin kecil
- b. Besar kecilnya gaya yang diberikan  
Besar kecilnya gaya yang diberikan pada jembatan berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi, artinya semakin besar beban yang dialami suatu batang maka defleksi yang terjadi semakin besar.
- c. Jenis tumpuan yang diberikan  
Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari pada tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.
- d. Jenis beban yang terjadi pada batang  
Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari pada slope titik. Ini karena sepanjang beban mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

Pada sebuah jembatan, seperti Jembatan Suramadu maka terdapat nilai batas toleransi terjadinya defleksi vertikal (Hidayat, 2011) yaitu :

$$\Delta \leq \frac{1}{400} L \quad (2.1)$$

$\Delta$  = Batas toleransi defleksi

$L$  = Panjang bentang utama jembatan

## **2.4 Global Positioning System**

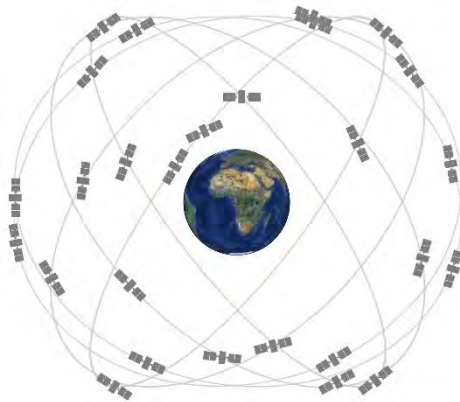
*GPS (Global Positioning System)* adalah system satelit navigasi dan penentuan posisi yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan 3 dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu diseluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca kepada banyak orang secara simultan. *GPS* dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Nama formalnya adalah *NAVSTAR GPS* kependekan dari “Navigation Satellite Timing and Ranging *Global Positioning System*”. (Abidin, 2007)

### **2.4.1 Segmen GPS**

Pada dasarnya *GPS* terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa yang terdiri dari satelit-satelit *GPS*, segmen sistem kontrol yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pengguna yang terdiri dari pengguna *GPS* termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data *GPS* (Wellenhof, 1992).

#### **a. Segmen Angkasa (*space segment*)**

Segmen angkasa terdiri dari satelit-satelit *GPS* serta roket-roket Delta peluncur satelit dari Cape Canaveral di Florida, Amerika Serikat. Satelit *GPS* bisa dianalogikan sebagai stasiun radio di angkasa, yang diperlengkapi dengan beberapa *antenna* untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. Sinyal-sinyal tersebut selanjutnya diterima oleh *receiver GPS* di/dekat permukaan Bumi, dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, waktu serta parameter-parameter turunan lainnya.



**Gambar 2. 4** Segmen Angkasa GPS (GPS.GOV, 2016)

b. Segmen Sistem Kontrol (*control system segment*)

Segmen system control *GPS* berfungsi mengontrol dan memantau operasional semua satelit *GPS* dan memastikan bahwa semua satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Secara lebih spesifik tugas utama dari segmen sistem kontrol *GPS* adalah (Seeber, 2003):

- Secara kontinyu memantau dan mengontrol satelit,
- Menentukan dan menjaga waktu sistem *GPS*,
- Memprediksi *ephemeris* satelit serta karakteristik jam satelit,
- Secara periodik meremajakan (*update*) *navigation message* dari setiap satelit, dan melakukan manuver satelit agar tetap berada dalam orbitnya, atau melakukan relokasi untuk menggantikan satelit yang tidak sehat, seandainya diperlukan.

c. Segmen Pengguna (*user segment*)

Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit *GPS*, baik di darat, laut, udara, maupun di angkasa. Dalam hal ini, alat penerima

sinyal dari satelit *GPS* (*GPS receiver*) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal dari satelit *GPS* untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan, waktu maupun parameter-parameter lainnya. Komponen utama dari suatu *GPS receiver* secara umum adalah: *antenna* dengan pre-amplifier, pemroses sinyal, pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, unit pengontrolan *receiver* dan pemrosesan (user and external communication), catur daya, memori serta perekam data.



**Gambar 2. 5** Segmen GPS (Abidin., 2007)

#### 2.4.2 Sinyal GPS

Pada dasarnya sinyal *GPS* terbagi atas: penginformasian jarak (kode), penginformasian posisi satelit (*navigation message*), dan gelombang pembawa (*carrier wave*).

##### a. Penginformasian Jarak (kode)

Ada dua kode *pseudo-random noise* (*PRN*) yang dikirimkan oleh satelit *GPS* dan digunakan sebagai penginformasian jarak, yaitu kode-P (*P* = *Precise* atau *Private*) dan kode-C/A (*C/A* = *Coarse Aquisition* atau *Clear Access*).

##### b. Penginformasian Posisi Satelit

Disamping berisi kode-kode, sinyal *GPS* juga berisi pesan navigasi (*navigation message*) yang berisi tentang koefisien koreksi jam satelit parameter orbit, almanak satelit, UTC, parameter koreksi

ionosfer, serta informasi special lainnya seperti status konstelasi dan kesehatan satelit. Pesan navigasi tersebut ditentukan oleh segmen system control dan dikirimkan (*broadcast*) ke pengguna menggunakan satelit *GPS*. Salah satu informasi yang terkandung dalam pesan navigasi *GPS* adalah *ephemeris* (orbit) satelit yang biasa disebut *broadcast ephemeris*.

c. Gelombang Pembawa

Ada dua gelombang pembawa yang digunakan yaitu L1 dan L2. Dalam hal ini, gelombang L1 membawa kode-kode P(Y) dan C/A beserta pesan navigasi, sedangkan gelombang L2 membawa kode P(Y) dan pesan navigasi. Proses pemodulasian sinyal *GPS* melalui dua tahap yaitu *binary-to binary modification of codes* dan tahap *binary biphase modulation*. Pada tahap pertama, *navigation message* ditumpangkan ke kode-P(Y) dan kode C/A. sedangkan pada tahap kedua, masing-masing kode yang telah ‘membawa’ *navigation message* ditumpangkan ke gelombang pembawa L1 dan L2 (Abidin, 2007).

#### **2.4.3 Metode dan Prinsip Pengukuran GPS**

Konsep dasar pada penentuan posisi dengan *GPS* adalah reseksi (pengikatan kebelakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit *GPS* yang koordinatnya telah diketahui (Abidin 2007). Posisi yang diberikan oleh *GPS* adalah posisi 3 dimensi (x,y,z atau j,l,h) yang dinyatakan dalam datum WGS (World Geodetic System) 1984, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid.

Dengan *GPS*, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (statik positioning) ataupun bergerak (kinematic positioning). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu *GPS receiver* terhadap pusat bumi dengan menggunakan absolute

positioning, ataupun terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya dengan menggunakan metode differential positioning yang menggunakan minimal dua *GPS receiver*.

Berikut ini dalam Tabel adalah beberapa metode penentuan posisi dengan menggunakan *GPS* :

Tabel 2. 1 Metode Penentuan Posisi Menggunakan *GPS*  
(Sumber : Abidin, 2007)

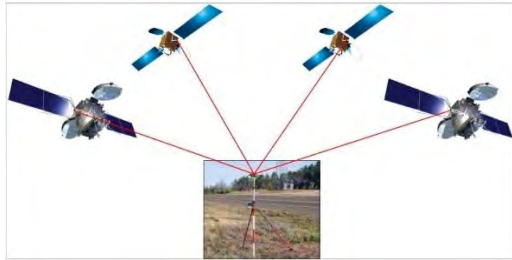
| METODE           | ABSOLUT      | DIFFERENSIAL     | TITIK    | RECEIVER        |
|------------------|--------------|------------------|----------|-----------------|
|                  | (1 RECEIVER) | (MIN 2 RECEIVER) |          |                 |
| STATIK           | V            | V                | DIAM     | DIAM            |
| KINEMATIK        | V            | V                | BERGERAK | BERGERAK        |
| RAPID STATIK     |              | V                | DIAM     | DIAM(SINGKAT)   |
| PSEUDO KINEMATIK |              | V                | DIAM     | DIAM & BERGERAK |
| STOP AND GO      |              | V                | DIAM     | DIAM & BERGERAK |

#### **2.4.3.1 Penentuan Posisi secara Absolut (*absolute positioning*)**

*Absolute positioning* adalah metode penentuan posisi yang dapat dilakukan per titik tanpa tergantung titik lainnya. Untuk penentuan posisi hanya diperlukan satu *GPS receiver*, dan tipe *receiver* yang digunakan untuk keperluan ini adalah tipe navigasi atau tipe genggam (*hand held*) .

Pada penentuan koordinat kartesian 3D dari suatu pengamat dengan menggunakan metode penentuan posisi secara absolut, pengamat pada dasarnya mengukur jarak ke beberapa satelit yang sudah diketahui koordinatnya.





**Gambar 2. 6** Contoh Penentuan Posisi Absolut 3D

#### **2.4.3.2 Penentuan Posisi Secara Diferensial (*Differential Positioning*)**

Pada penentuan posisi diferensial, posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*station reference*).

Pada metode diferensial, yang kadangkala dinamakan metode penentuan posisi *relatif*, dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *GPS receiver* pada waktu yang bersamaan, maka dapat mengeliminasi atau mereduksi beberapa jenis kesalahan dan bias yang akan meningkatkan akurasi dan presisi data., dan selanjutnya akan diperoleh posisi yang akurat dan presisi. Adapun biasanya titik yang akan ditentukan posisinya dinamakan dengan *rover*, sedangkan titik yang posisinya telah diketahui dinamakan dengan *base*.

Ada tiga metode pengeliminasian Ada tiga metode pengeliminasian (*differencing*), yaitu *Single Difference*, *Double Difference*, dan *Triple Difference*. Metode *Single Difference* (SD), disimbolkan dengan ( $\Delta$ ), dilakukan dengan menggunakan dua *receiver* A dan B serta satu satelit dimana kesalahan *ephemeris* (orbit) atau dua satelit dan satu *receiver* dan kesalahan jam satelit dapat

dieliminasi dengan mengurangi dua data *one-way* (OW) masing masing *receiver* atau satelit. Kemudian *Double Difference* (DD), disimbolkan dengan ( $\Delta\nabla$ ), dilakukan dengan dua *receiver*, dua satelit sehingga kesalahan jam *receiver* dapat dieliminasi. Sedangkan *Triple Difference* (TD) dilakukan dengan dua *receiver*, dua satelit dan dua *epoch* pengamatan sehingga ambiguitas fase dapat dieliminasi.

$$SD = OW - OW \quad (2.2)$$

$$DD = SD - SD \quad (2.3)$$

$$TD = DD - DD \quad (2.4)$$

#### **2.4.3.3 Metode Penentuan Posisi Statik**

Penentuan posisi secara statik (*statik positioning*) adalah penentuan posisi dari titik-titik yang statik (diam). Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan secara absolut maupun diferensial, dengan menggunakan data pseudorange dan/atau fase. Ukuran lebih pada suatu titik pengamatan yang diperoleh dengan metode statik biasanya lebih banyak dibandingkan dengan metode kinematik. Hal ini yang menyebabkan ketelitian posisi yang umumnya *relatif* lebih tinggi (dapat mencapai orde mm sampai cm).

#### **2.4.3.4 Metode Penentuan Posisi Kinematik**

Penentuan posisi secara kinematik (*kinematic positioning*) adalah penentuan posisi dari titik-titik yang bergerak dan *GPS receiver* tidak dapat atau tidak mempunyai kesempatan untuk berhenti pada titik-titik tersebut. Penentuan posisi ini dapat dilakukan secara absolut ataupun diferensial. Pada penentuan kinematik diferensial dibutuhkan 2 *receiver*, satu *receiver* disebut *base* yang secara tetap sebagai control station, sementara

itu *receiver* lainnya bergerak dari titik-titik yang tidak diketahui koordinatnya.

#### **2.4.4 Ketelitian Posisi dengan GPS**

Pada sistem *GPS* terdapat kesalahan komponen sistem yang akan mempengaruhi ketelitian hasil posisi yang diperoleh. Kesalahan-kesalahan tersebut contohnya kesalahan orbit satelit, kesalahan jam satelit, kesalahan jam *receiver*, kesalahan pusat fase *antenna*, dan *multipath*. Hal-hal lain yang mempengaruhi kesalahan sistem seperti efek imaging, dan noise. Kesalahan ini dapat dieliminir dengan menggunakan teknik differencing data (Abidin, 2007).

Ketelitian posisi yang didapat dari pengamatan *GPS* secara umum bergantung pada 4 faktor, antara lain:

- a. Ketelitian data
  - Tipe data yang digunakan
  - Kualitas *receiver*
  - Level dari kesalahan dan bias
- b. Geometri satelit
  - Jumlah satelit
  - Lokasi dan distribusi satelit
  - Lama pengamatan
- c. Metode penentuan posisi
  - Absolute dan differensial positioning
  - Statik, kinematic, rapid statik, pseudo-kinematik, stop and go
  - One and multi monitor station
- d. Strategi pemrosesan data
  - Real-time dan post processing
  - Strategi eliminasi dan pengkoreksian kesalahan dan bias
  - Metode estimasi yang digunakan
  - Pemrosesan *baseline* dan perataan jaring
  - Kontrol kualitas

### **2.4.5 Kesalahan dan bias**

Sinyal *GPS* pada saat dari satelit ke *antenna receiver* dipengaruhi oleh beberapa kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias *GPS* pada dasarnya dapat dikelompokkan atas kesalahan dan bias yang terkait dengan (Abidin, 2007):

- a. Satelit, seperti kesalahan *ephemeris*, jam satelit, dan *selective availability* (SA),
- b. Medium propagansi, seperti bias ionosfer dan bias troposfer,
- c. *Receiver GPS*, seperti kesalahan jam *receiver*, kesalahan yang terkait dengan *antenna*, dan noise (derau),
- d. Data pengamatan, seperti ambiguitas fase dan *cycle slips*, dan
- e. Lingkungan sekitar *GPS receiver* seperti *multipath* dan imaging.

Kesalahan dan bias *GPS* harus diperhitungkan secara benar dan baik. Karena besar dan karakteristik dari kesalahan dan bias tersebut akan mempengaruhi ketelitian informasi (posisi, kecepatan, percepatan, waktu) yang diperoleh serta proses penentuan ambiguitas fase dari sinyal *GPS*.

#### **2.4.5.1 Kesalahan *Ephemeris* (orbit)**

Kesalahan *ephemeris* adalah kesalahan dimana orbit satelit dilaporkan oleh *ephemeris* tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya. Kesalahan ini akan mempengaruhi ketelitian dari koordinat titik-titik. Kesalahan orbit satelit *GPS* pada dasarnya disebabkan oleh kekurangan telitian pada proses perhitungan orbit satelit, kesalahan dalam prediksi orbit untuk periode waktu setelah uploading ke satelit, dan penerapan kesalahan orbit yang sengaja diterapkan.

#### **2.4.5.2 Bias Ionosfer**

Ionosfer adalah bagian dari lapisan atas atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron dan ion bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ini tergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut. Bias ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan sinyal *GPS*. Ionosfer akan memperlambat pseudorange (ukuran jarak menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak menjadi lebih pendek).

#### **2.4.5.3 Bias Troposfer**

Troposfer merupakan lapisan atmosfer netral yang berbatasan dengan permukaan bumi dimana temperatur menurun dengan ketinggian yang menambah. Dilapisan ini sinyal *GPS* mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal *GPS*. Dengan kata lain efek utama dari troposfer sangat berpengaruh terhadap hasil ukuran jarak. Pada lapisan ini pseudorange dan fase diperlambat. Dan besar magnitudde bias troposfer pada kedua data pengamatan tersebut adalah sama.

#### **2.4.5.4 Multipath**

*Multipath* adalah fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di *antenna receiver GPS* melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Hal ini disebabkan karena sinyal dipantulkan oleh benda-benda disekitar *antenna* sebelum tiba di *antenna* tersebut. Benda-benda tersebut dapat berupa jalan raya, gedung, danau, dan kendaraan. Perbedaan panjang lintasan menyebabkan sinyal-sinyal tersebut berinterferensi ketika tiba di *antenna* yang pada akhirnya menyebabkan kesalahan pada hasil

pengamatan serta mempengaruhi hasil ukuran pseudorange maupun carrier phase.

#### **2.4.5.5 Ambiguitas Fase (Cycle Ambiguity)**

Ambiguitas fase adalah jumlah gelombang penuh yang tidak dapat terukut oleh *receiver GPS*. Selama *receiver GPS* mengamati sinyal secara kontinu (tidak terjadi *cycle slips*), maka ambiguitas fase akan selalu sama untuk setiap epok.

#### **2.4.5.6 Cycle Slips**

*Cycle slips* adalah ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena *receiver* yang disebabkan oleh satu dan lain hal ‘terputus’ pada saat pengamatan sinyal.

#### **2.4.5.7 Kesalahan Jam**

Kesalahan jam ada dua, yaitu kesalahan jam *receiver* dan jam satelit. Kesalahan dari salah satu jam akan langsung mempengaruhi jarak, baik pseudorange maupun jarak fase. Selisih antara kedua jam yang terlibat dapat di perkecil (semakin teliti hasil yang didapat) dengan:

- a. Membuat acuan ke sistem waktu yang sama antara jam *receiver* dan jam satelit (sistem waktu UTC),
- b. Mensinkronkan satu sama lain, serta
- c. Menjaga kestabilannya.

#### **2.4.5.8 Imaging**

Imaging adalah suatu fenomena yang melibatkan suatu benda konduktif yang berada dekat dengan *antenna GPS*, seperti reflektor yang berukuran besar maupun groundplane dari *antenna* itu sendiri. Fenomena ini seolah-olah menjadi *antenna* tersendiri yang dapat dilihat sebagai ‘bayangan’ (*image*) dari *antenna* yang sebenarnya.

#### 2.4.6 Software Pengolah (GAMIT/GLOBK)

Pada penelitian ini software pengolah yang digunakan adalah software pengolah GPS ilmiah yaitu GAMIT/GLOBK. GAMIT (*GPS Analysis Package Developed at MIT*) adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dari pengamat dengan tingkat ketelitian tinggi karena data yang digunakan selain data *broadcast ephemeris* adalah penggunaan data *precise ephemeris* (Rahadi, 2013). Dalam pengolahannya GAMIT membutuhkan delapan macam input data, antara lain (Herring, 2015) :

- a. *Raw data* dari pengamatan GPS.
- b. *L-file*, yang berisi koordinat dari semua stasiun pengamatan atau titik ikat yang digunakan. Koordinat yang digunakan dapat berupa koordinat geosentrik.
- c. *File station.info*, berisi informasi stasiun-stasiun pengamatan GPS yang digunakan, seperti tempat atau lokasi stasiun, tinggi *antenna*, model *antenna*, waktu pengamatan, dan firmware yang digunakan oleh *receiver*.
- d. *File session.info*, sesi data yang akan diolah. Informasi yang tercantum antara lain adalah tahun, *DoY*, sesi pengamatan, *sampling rate*, banyak epok, dan nomor satelit.
- e. *File navigasi*, bisa berupa *RINEX* atau *navigation messages* maupun *ephemeris* yang disediakan oleh IGS.

- f. *File sestbl*, membuat control tabel mengenai karakteristik proses yang dijalankan oleh *GAMIT*.
- g. *File sittbl* digunakan untuk memberikan konstrain pada setiap stasiun pengamatan yang digunakan.
- h. *File GPS Ephemeris* yang didapatkan pada *IGS* dalam format *SP3*.

Hasil akhir dari proses pengolahan *GPS* dengan perangkat lunak *GAMIT* adalah sebagai berikut :

- a. *Q-file*, memuat semua informasi hasil pengolahan data pengamatan *GPS* dengan *GAMIT*, yang disajikan dalam dua versi *biasses-free solution* dan *biasses-fixed solution*.
- b. *H-file*, yang berisi hasil pengolahan dengan *loosly constraint solutions* yang berupa parameter-parameter yang digunakan serta matriks varian kovarian pada pengolahan lanjutan dengan *GLOBK*.
- c. *Autcln.summary-file*, berisi tentang data statistic hasil editing dengan *autcln*.

*GLOBK (Global Kalman Filter VLBI and GPS analysis Program)* adalah satu paket program yang dapat mengkombinasikan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Kunci dari data input pada *GLOBK* adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit dan koordinat hasil pengamatan lapangan. Input *file* digunakan *H-file* dari hasil pengolahan dengan *GAMIT*. Selain hasil pengolahan *GAMIT*, *GLOBK* juga dapat menerima *input file* hasil pengolahan dari perangkat lunak ilmiah lain, misal : *GIPSY* dan *Bernesse* (Herring, 2015). Terdapat 3 moda aplikasi yang dapat dijalankan dengan menggunakan *GLOBK*, yaitu :



- a. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari
- b. Mengkombinasikan hasil pengolahan selama bertahun-tahun untuk menghasilkan koordinat stasiun.
- c. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual, yang digunakan untuk mengeneralisasikan data runut waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan.

## **2.5 Sistem Koordinat**

Sistem koordinat adalah suatu metode untuk menentukan posisi titik terhadap kerangka koordinat tertentu. Sebagai contoh dalam sistem koordinat geodetik, posisi dari lintang, bujur, dan tinggi ditentukan terhadap ellipsoid referensi menggunakan cara tertentu. Sistem koordinat ini mempermudah mendeskripsikan, perhitungan, dan analisis baik yang bersifat geometrik maupun dinamik. Sistem referensi merupakan definisi secara konseptual mengenai bagaimana sistem koordinat ditentukan. Terkait dalam pendefinisian titik pusat dan orientasi dari sumbu-sumbu sistem koordinat. Termasuk yang mendasari model matematika dan model fisik. Kerangka referensi adalah realisasi praktis dari sistem referensi melalui pengukuran dan pengamatan (Abidin, 2001).

Sistem koordinat memiliki beberapa parameter yang digunakan yaitu :

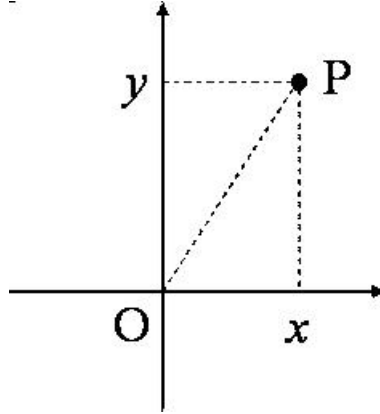
- a. Lokasi Titik Nol dari Sistem Koordinat
- b. Orientasi dari Sumbu-Sumbu Koordinat
- c. Besaran yang Digunakan untuk Mendefinisikan Posisi Suatu Titik dalam Sistem Koordinat.

Ada beberapa sistem koordinat yang umum digunakan yaitu :

a. Sistem Koordinat Kartesian

- Sistem Koordinat Kartesian 2 Dimensi

Merupakan sistem koordinat yang terdiri dari dua salib sumbu x dan sumbu y digambarkan seperti gambar :



*Gambar 2. 7 Sistem Koordinat Kartesian 2D*

Jika  $d$  merupakan jarak antar 2 titik maka secara umum  $d$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

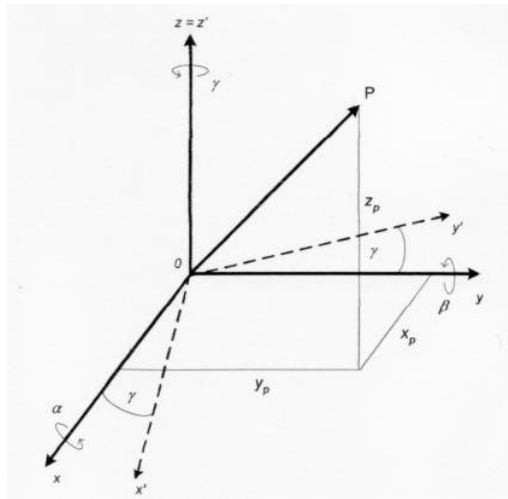
$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2. 2)$$

- Sistem Koordinat Kartesian 3 Dimensi

Dalam sistem koordinat kartesian dengan axis  $x, y, z$ , posisi tinggi titik  $p$  ditentukan dalam vector sebagai berikut :

$$Xp = \begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ Zp \end{bmatrix} \quad (2. 3)$$

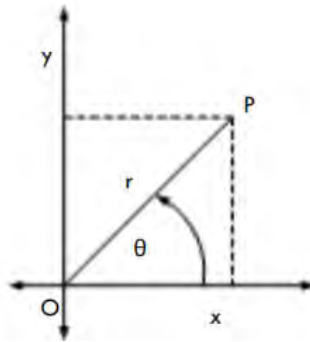
Dimana  $Xp$ ,  $Yp$ , dan  $Zp$  adalah bilangan riil.



**Gambar 2. 8** Sistem Koordinat Kartesian 3D

b. Sistem Koordinat Polar

Jika O merupakan titik pusat koordinat garis OX merupakan sumbu axis polar, maka titik P dapat ditentukan koordinatnya dalam sistem koordinat polar berdasarkan sudut vektor  $\Theta$  dan radius vektor ( $r$ ) atau garis OP yaitu  $P(r, \Theta)$ . Sudut vektor ini bernilai positif jika mempunyai arah berlawanan dengan arah putaran jarum jam dan sebaliknya bernilai negative jika searah dengan putaran jarum jam.



*Gambar 2. 9 Sistem Koordinat Polar*

$$X = r.\cos \theta \text{ dan } y = r.\sin \theta \quad (2. 4)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2. 5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (2. 6)$$

c. Sistem Koordinat Geosentrik

Merupakan penentuan suatu titik di permukaan bumi, dimana titik nol-nya berlokasi di titik pusat masa bumi. Sistem koordinat ini biasanya digunakan untuk menentukan posisi titik-titik di permukaan bumi dengan menggunakan satelit *GPS*.

d. Sistem Koordinat Toposentrik

Penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi dimana titik nol-nya berlokasi disuatu titik dipermukaan bumi. Koordinat toposentris biasanya digunakan untuk menentukan posisi terestris.

### **2.5.1 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik**

Persamaan yang digunakan dalam proses transformasi adalah (Wellenhof, 1992) :

$$\begin{bmatrix} nA \\ eA \\ uA \end{bmatrix} = R(\varphi o, \gamma o) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xa - Xo \\ Ya - Yo \\ Za - Zo \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$R(\varphi o, \gamma o) = \begin{bmatrix} -\sin\varphi o \cos\gamma o & -\sin\varphi o \sin\gamma o & \cos\varphi o \\ -\sin\varphi o & \cos\gamma o & 0 \\ \cos\varphi o \cos\gamma o & \cos\varphi o \sin\gamma o & \sin\varphi o \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$nA, eA, uA$  : Koordinat toposentrik titik A

$\varphi o, \gamma o$  : Koordinat geodetic titik O

$Xo, Yo, Zo$  : Koordinat Geosentrik titik O

$XA, Ya, Za$  : Koordinat Geosentrik titik A

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$  : Selisih antara koordinat geosentrik titik A dan titik O

R : Matrik rotasi

## **2.6 Pembebanan Pada Jembatan**

Standar Pembebanan untuk Jembatan adalah ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan jalan raya. Dalam Standar Pembebanan untuk Jembatan, RSNI-T02, 2005 disebutkan bahwa suatu jembatan memiliki beban primer dan beban sekunder.

Beban primer adalah beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan, beban primer jembatan mencakup beban mati dan beban hidup.

### **2.6.1 Beban Mati**

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap

merupakan suatu kesatuan tetap dengannya. Beban mati primer adalah berat sendiri dari pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar jembatan. Beban mati sekunder adalah berat trotoar, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat dicor. Beban tersebut dianggap terbagi rata di seluruh gelagar.

### **2.6.2 Beban Hidup**

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak / lalu lintas dan / atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Menurut Bridge Management System (BMS) load rating suatu jembatan adalah ukuran daya dukung jembatan terhadap Standard Truck untuk rute dimana suatu jembatan berada. Sesuai standar pembebanan tersebut, beban truk standar adalah 50 ton dengan konfigurasi satu truk setiap jalur. Hal ini diperhitungkan berdasarkan kasus konfigurasi kendaraan dan kapasitas actual jembatan. Jembatan direncanakan untuk menahan beban hidup yang sesaat melewati jembatan, dengan demikian kemacetan lalu lintas di atas jembatan harus dihindari. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T"

- a. Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban "D" dipergunakan untuk perhitungan kekuatan gelagar, yaitu berupa susunan beban pada setiap jalur.
- b. Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang

kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

Beban sekunder jembatan adalah beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban ini mengakibatkan tegangan-tegangan yang relatif kecil daripada tegangan akibat beban primer dan biasanya tergantung dari bentang, bahan, sistem konstruksi, tipe jembatan dan keadaan setempat. Beban sekunder berupa aksi lingkungan yang terdiri dari pengaruh temperature, angin, banjir, dan gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya.

## **2.7 Distribusi Normal**

Distribusi normal merupakan salah satu distribusi probabilitas yang penting dalam analisis statistika. Distribusi ini memiliki parameter berupa mean dan standar deviasi. Distribusi normal memiliki parameter distribusi yaitu rata-rata (mean  $\mu$ ) dan deviasi standar (standard deviation  $\sigma$ ). Batas yang diberikan pada data tersebut adalah  $\mu - k\sigma < X < \mu + k\sigma$ . Pengali  $k$  dari deviasi standar digunakan untuk menentukan tingkat kepresisian. Menurut (Muhamadi dan Mutiara, 2002) persamaan probabilitasnya didapatkan:

$$P [\mu - k\sigma < X < \mu + k\sigma] = P [-k < Z < k] = \phi(k) - \phi(-k) \quad (2.10)$$

$$\text{Dimana} \quad Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.11)$$

Dengan memperhatikan kesimetrisan distribusi, persamaan disederhanakan menjadi:

$$P [\mu - k\sigma < X < \mu + k\sigma] = 2\phi(k) - 1 \quad (2.12)$$

## **2.8 Analisa Korelasi**

Analisa Korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk menentukan kuatnya atau dejabat hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Ukuran untuk derajat hubungan garis lurus ini dinamakan koefisien korelasi. Korelasi dilambangkan dengan  $r$  dengan ketentuan nilai  $r$  tidak lebih dari harga  $(-1 \leq r \leq 1)$ . Apabila nilai  $r = -1$  artinya korelasi negatif sempurna;  $r = 0$  artinya tidak ada korelasi; dan  $r = 1$  artinya korelasinya sangat kuat.

***Tabel 2. 2 Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai  $r$  (Sudjana, 2002)***

| <b>Interval Koefisien</b> | <b>Tingkat Hubungan</b> |
|---------------------------|-------------------------|
| 0,800 – 1,000             | Sangat Kuat             |
| 0,600 – 0,799             | Kuat                    |
| 0,400 – 0,599             | Cukup Kuat              |
| 0,200 – 0,399             | Lemah                   |
| 0,000 – 0,199             | Sangat Lemah            |

Rumus korelasi sederhana adalah (Sudjana, 2002):

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (2.13)$$

## **2.9 Spesifikasi Alat**

Pada penelitian ini digunakan dua tipe *receiver GPS* yang digunakan yaitu *Leica GRX1200GGPRO* yang digunakan sebagai stasiun *base* dan *Leica GX1230* yang digunakan sebagai *Rover GPS*.

### **2.9.1 Leica GRX1200GGPRO**

*Leica GRX1200GGPRO* adalah bagian dari sistem baru *Leica 1200's*, didesain secara spesifik untuk digunakan sebagai *reference station*. Dengan *receiver* ini



dapat menjadikan *reference station* menjadi semakin akurat, semakin kuat, semakin mudah digunakan, dan semakin terpercaya dari yang sebelumnya dan juga mudah untuk dipasang dan dioperasikan.

Beberapa kelebihan dari *receiver* ini adalah akurasi data yang tinggi, perekaman data hingga 20 Hz, konsumsi daya yang rendah, penyimpanan yang dapat diganti, konfigurasi yang mudah, dan berbasis *web*.

**Tabel 2. 3 Spesifikasi Teknik Leica GRX1200GG Pro  
(Leica-Geosystems, 2016)**

|   |  |
|---|--|
| Teknologi GNSS<br>GRX1200 GG Pro  | <i>SmartTrack+</i> , 14L1 + 14L2 GPS,<br>12L1 + 12L2 GLONASS, 20<br>Hz, L1C/A, L2P, L2C code   |
| <i>SmartTrack</i><br>Advanced GPS measurement<br>technology             | Waktu untuk mendapatkan sinyal<br>satelit: sekitar 30 detik. Akuisisi<br>kembali setelah sinyal putus :<br>sekitar 1 detik. Sensitifitas sangat<br>tinggi : mengakuisisi 99%<br>observasi yang dimungkinkan<br>pada elevasi pengukuran 10<br>derajat.. Noise signal sangat<br>rendah. Mitigasi <i>multipath</i> . Tahan<br>terhadap lompatan data. |
| Presisi Pengukuran<br><i>Carrier phase</i><br><i>Code (pseudorange)</i> | L1: 0.2 mm rms L2: 0.2 mm rms<br>L1: 20 mm rms L2: 20 mm rms   |
| Status indicators   | 3 LED indicator untuk power,<br><i>tracking</i> dan memory.  |
| <i>Web &amp; FTP Services</i>   | Control dan konfigurasi <i>receiver</i><br>dapat menggunakan web browser<br>dengan kabel Ethernet atau serial<br>PPP.  |
| Berat   | 1.2 kg   |
| Suhu normal pengukuran  | -40° C to + 65° C<br>-40° C to + 80° C   |
| Kelembapan  | Sampai dengan 100%   |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Hujan, debu, angin, pasir | Terlindung dari hujan, debu, angin, dan pasir |
|---------------------------|---|

## **2.9.2 Leica GX1230**

***Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknik Receiver Leica GX1230  
(Leica-Geosystems, 2016)***

|   |   |
|---|---|
| <i>Type Receiver</i>  | <i>Triple-frequency, GPS/GLONASS/Galileo/Compass, geodetic, real-time RTK receiver</i>  |
| <i>LED status indicator</i>   | 3: untuk power, tracking, memory  |
| Standard survey antenna   | AX1203+ GNSS, L1/L2/L5 GPS GLONASS/Galileo/Compass SmartTrack+  |
| Dimensi (diameter x tinggi)   | 170mm x 62mm  |
| Berat   | 0.44kg  |
| Code dan Phase presisi pengukuran (mengabaikan AS)<br>Carrier phase pada L1<br>Carrier phase pada L2<br>Code (pseudorange) pada L1<br>Code (pseudorange) pada L2  | 0.2mm rms<br>0.2mm rms<br>2cm rms<br>2cm rms  |
| Akurasi (rms) dengan post processing<br>Statik (phase), long lines, long observations, choke ring antenna<br>Statik and rapid statik (phase) with standard antenna<br>Kinematic (phase), in moving mode after initialization<br>Code only | Horizontal: 3mm + 0.5ppm<br>Vertikal: 6mm + 0.5ppm<br>Horizontal: 5mm + 0.5ppm<br>Vertikal: 10mm + 0.5ppm<br>Horizontal: 10mm + 1ppm<br>Vertikal: 20mm + 1ppm<br>Typically 25cm |
| Akurasi (rms) dengan real-time/RTK  | Horizontal: 5mm + 0.5ppm<br>Vertikal: 10mm + 0.5ppm<br>Horizontal: 10mm + 1ppm  |

|   |   |
|---|---|
| Rapid statik (phase), Statik mode after initialization (compliance with ISO17123-8)<br>Kinematic (phase), moving mode after initialization<br>Code only | Vertikal: 20mm + 1ppm<br>sekitar 25cm         |
| Perekaman Data  | Pilihan: 0.05 sec (20Hz) sampai 60 detik 0.03 |

## **2.10 Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian yang terkait dengan Jembatan Suramadu yaitu penelitian milik (Maris, 2011) dengan judul “ Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh *Traffic Load*” dan dihasilkan telah terjadi deformasi vertikal sebesar 56,891 cm ke atas dan 41,915 cm ke bawah dari posisi rata-ratanya diatas ellipsoid. Penelitian ini menggunakan teknologi *GPS* metode kinematik untuk mengetahui seberapa besar pergerakan vertikal Jembatan Suramadu akibat satuan mobil penumpang. Pergerakan vertikal dari penelitian ini adalah  $1.6385 \times 10^{-15}$  cm akibat adanya satu satuan mobil penumpang. Hubungan antara perubahan tersebut dengan muatan traffic yang melaju di atasnya didapatkan hubungan linier negatif yang lemah.

Selanjutnya penelitian oleh (Rezki, 2014) dengan judul “Studi Pergeseran Sementara (Defleksi Vertikal) Jembatan Suramadu”. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan pada bentang tengah Jembatan Suramadu menggunakan *GPS* geodetik dan digunakan data penunjang *IGS Precise Ephemeris*. Hasil penelitian ini menunjukkan defleksi sementara bentang tengah jembatan Suramadu pada tanggal 07 April 2014 sebesar 0,978 m pada *GPS* 1 dan 0,101 m pada *GPS* 2 serta pada tanggal 19 Maret 2015 sebesar 0,080 m pada *GPS* 1 dan 0,280 m pada *GPS* 2 dimana posisi tinggi yang didapatkan merupakan posisi rata-rata jembatan saat bergerak dikurangi posisi saat jembatan mengalami elevasi terendah diatas permukaan ellipsoid.

Pada penelitian sebelumnya terdapat kesamaan untuk mengamati defleksi vertikal Jembatan Suramadu. Namun terdapat perbedaan dari sumber datanya yaitu bila pada penelitian sebelumnya menggunakan data primer sedangkan pada penelitian ini menggunakan data *GPS* Observation Jembatan Suramadu yang dimiliki oleh unit *SMKS* Jembatan Suramadu. Selain itu pada penelitian sebelumnya dikorelasikan terhadap beban kendaraan yang lewat, sedangkan pada penelitian kali ini tidak dikorelasikan terhadap beban kendaraan tetapi dipusatkan pada defleksi vertikalnya itu sendiri. Untuk sistem tinggi yang digunakan pada penelitian sebelumnya menggunakan tinggi di atas permukaan ellipsoid sedangkan pada penelitian ini menggunakan tinggi di atas permukaan toposentrik.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Tugas Akhir**

Lokasi survei adalah Jembatan Suramadu yang berada pada koordinat geografis  $7^{\circ}11'3''$  LS dan  $112^{\circ}46'48''$  BT (titik di bentang tengah jembatan). Jembatan ini terhubung langsung dengan Pulau Madura (Kabupaten Bangkalan) di sebelah utara dan Pulau Jawa (Kota Surabaya) di sebelah selatan.



*Gambar 3. 1 Lokasi Jembatan Suramadu (Google Maps, 2015)*

#### **3.2 Data dan Peralatan**

##### **3.2.1 Data**

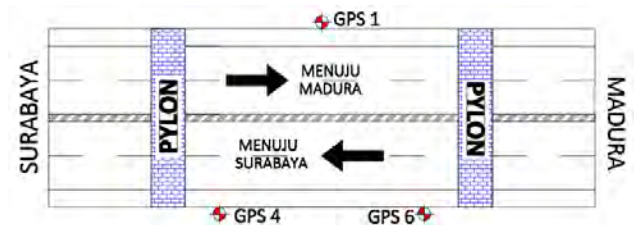
Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

a. Data *Rinex*

- *Raw* data pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu pada tanggal 1-31 Juli 2015 dengan interval waktu pengamatan 30 detik. Data *GPS* bersumber dari unit *SHMS* yang berada atas naungan *BBPJN V* (Balai Besar Pelaksanaan Jalan dan Jembatan). Data pengamatan yang digunakan adalah stasiun *GPS* *mdr (base)*, *GPS* 1, *GPS* 4 dan *GPS* 6.
- Data pengukuran *CORS ITSS* (terletak pada Jurusan Teknik Geomatika, *FTSP* dan

Perencanaan ITS Surabaya) dengan interval perekaman data 15 detik.

- b. Data navigasi orbit Satelit *IGS Precise Ephemeris* tanggal 1-31 Juli 2015 dapat didownload melalui pusat data *SOPAC*.
- c. Tiga *file* data tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut, *file* atmosfer, dan *file* pemodelan cuaca yang dapat didownload melalui <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS/>.
- d. Nilai jam satelit ; *file* navigasi *RINEX* (brdcDDD0.YYn) yang dapat didownload dari pusat data *SOPAC*.
- e. Data sekunder yang dibutuhkan saat pengolahan yang akan diunduh otomatis oleh perangkat lunak *GAMIT/GLOBK*.



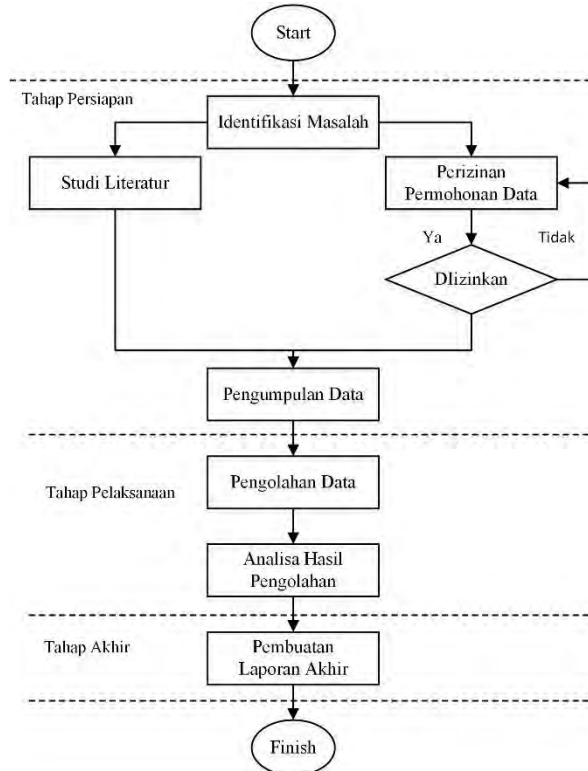
Gambar 3. 2 Ilustrasi Penempatan Rover pada Jembatan Suramadu

### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Perangkat Keras.
  - Stasiun *GPS* mdr, *GPS* 1, *GPS* 4, dan *GPS* 6 Jembatan Suramadu
  - Stasiun *GPS CORS ITS* Surabaya
- b. Perangkat Lunak.
  - *Microsoft Office*
  - *GAMIT/GLOBK Versi 10.6*
  - *Matlab 2010*

### **3.4 Tahapan Penelitian**



**Diagram 3.1** Metodologi Penelitian

Penjelasan dari tahapan pengolahan data pada diagram 3.1 adalah sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah

a. Identifikasi Masalah

Kegiatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan, dalam penelitian kali ini permasalahan yang diangkat adalah untuk melakukan analisis

terhadap defleksi vertikal Jembatan Suramadu menggunakan *GPS CORS* Jembatan Suramadu.

b. Studi Literatur

Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh referensi yang berhubungan dengan defleksi vertikal, jembatan, *GPS*, *CORS*, pengolahan data survei *GPS*, analisis hasil pengukuran juga hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian ini yang didapatkan dari referensi buku, jurnal, paper, ataupun juga penelitian terdahulu serta sumber lain yang terkait dengan penelitian ini.

c. Perizinan

Kegiatan ini merupakan kegiatan perizinan untuk menggunakan data yang dimiliki oleh Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional V pada unit *SMKS* yaitu data pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu pada tanggal 1-31 Juli 2015 agar dalam proses selanjutnya dapat berjalan dengan lancar dan legal. Untuk kemudian data dapat digunakan dengan sebagai mana mestinya.

2. Tahap Pengolahan dan Analisis

a. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data setelah mendapatkan izin dari instansi yang bernaung. Data Pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu diperoleh dari kantor Surabaya *Monitoring Building* yang terletak di Bangkalan, Madura. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data tambahan yang dibutuhkan untuk pengolahan dengan *GAMIT/GLOBK*.

b. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah didapat dan data penunjang lainnya. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolah *GPS* ilmiah *GAMIT/GLOBK*.



Kemudian data hasil pengolahan diexport dan didapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu untuk selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan *MATLAB*.

c. Analisis Data

Setelah pengolahan data selesai, maka akan dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data pengukuran *GPS*. Pada tahap ini hasil dari pengolahan akan dianalisis besar nilai defleksi vertikal harian dan analisis terhadap toleransi maksimal defleksi vertikal yang diizinkan pada Jembatan Suramadu.

3. Tahap Akhir

a. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan kegiatan atau tahap akhir dari Tugas Akhir ini, dimana laporan ini mencakup seluruh hasil dari proses hingga hasil akhir dari penelitian ini. Tahapan ini merupakan tahap akhir dari penelitian yang dilakukan.

### 3.4 Tahapan Pengolahan Data

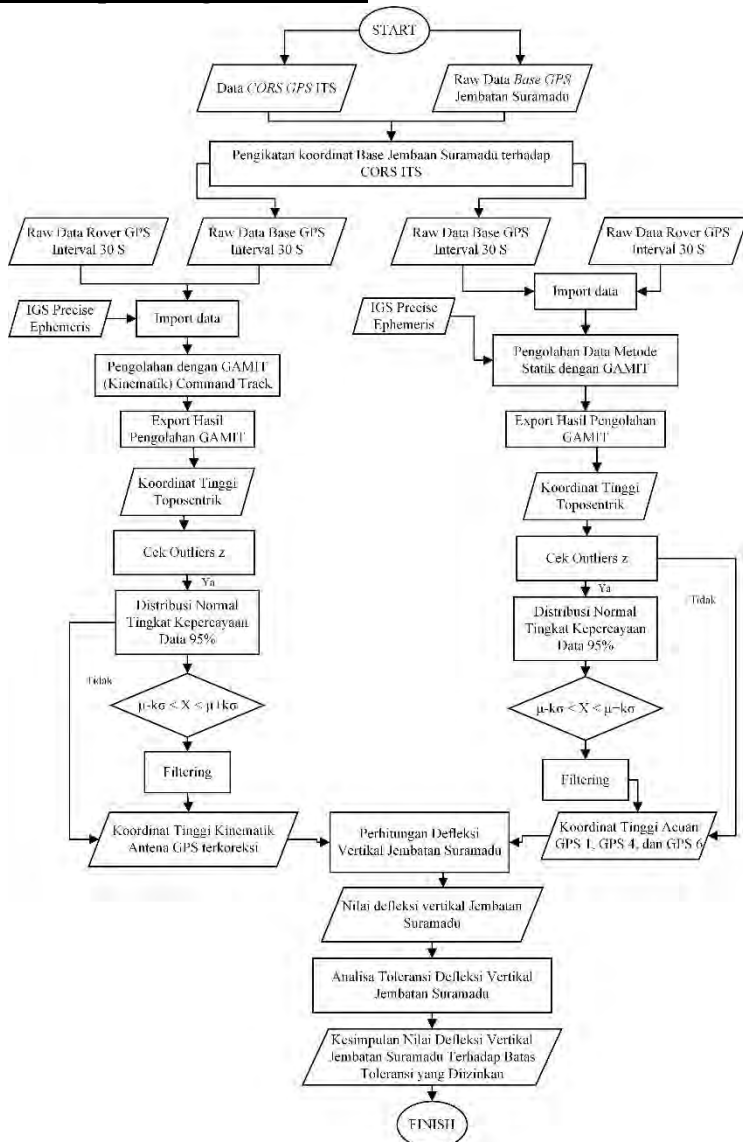
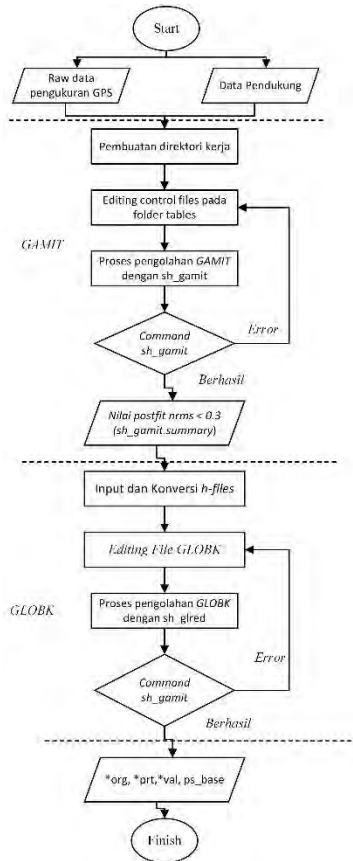


Diagram 3. 2 Metodologi Pengolahan Data

Penjelasan dari tahapan pengolahan data pada diagram 3.2 adalah sebagai berikut :

- a. Koordinat *Base* Jembatan Suramadu belum memiliki koordinat fix sehingga harus diikatkan ke stasiun *GPS* terdekat yang memiliki koordinat fix yaitu stasiun *GPS CORS ITSS* (terletak di Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya).
- b. Proses pengolahan data *GPS*, dimana *CORS ITSS* didefinisikan sebagai *base* untuk mengikat *Base GPS* Jembatan Suramadu. Setelah itu dihasilkan koordinat fix *Base* Jembatan Suramadu yang akan digunakan untuk pengolahan selanjutnya.
- c. Data yang digunakan adalah *raw* data dari pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu dengan interval waktu pengukuran 30 detik. Koordinat *base* yang digunakan adalah koordinat fix hasil pengolahan sebelumnya.
- d. Kemudian data diimpor ke software *GAMIT* 10.6, pada penelitian ini digunakan data penunjang yaitu data navigasi orbit satelit *IGS Precise Ephemeris dalam format SP3*.
- e. Kemudian *raw* data *rover* dan *base* bersama dengan data *IGS Precise Ephemeris* diolah menggunakan *GAMIT* dengan proses kinematik yaitu dengan *command track*.
- f. Setelah data selesai di proses maka export hasil pengolahan dengan *GAMIT* ke *ms.excel*.
- g. Pada penelitian ini digunakan sistem koordinat toposentrik, dimana posisi *base* menjadi titik acuan.
- h. Selanjutnya adalah penghilangan *outliers* dengan distribusi normal tingkat percayaan 95%, semua data yang tidak sesuai parameter tersebut akan direduksi.
- i. Maka akan dihasilkan koordinat tinggi tiap *epoch antenna GPS* 1,4,dan 6 yang telah terbebas dari adanya *outliers*.

- j. Langkah selanjutnya adalah pengolahan data dengan metode statik untuk menghasilkan koordinat tinggi acuan.
- k. Import raw data pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu dan data *CORS ITS* sebagai titik pengikat
- l. Selanjutnya lakukan pengolahan pada *GAMIT 10.6* dengan metode statik.
- m. Export hasil pengolahan *GAMIT 10.6* ke *ms.excel*
- n. Koordinat tinggi yang dihasilkan adalah koordinat tinggi toposentrik.
- o. Selanjutnya adalah penghilangan *outliers* dengan distribusi normal tingkat kepercayaan 95%, data yang tidak sesuai parameter tersebut akan direduksi.
- p. Maka akan dihasilkan koordinat tinggi acuan *antenna GPS* 1, 4, dan 6 yang didefinisikan sebagai koordinat tinggi awal sebelum terjadinya defleksi pada jembatan atau dapat disebut dengan tinggi normal.
- q. Setelah didapatkan koordinat tinggi acuan dan koordinat tinggi kinematik tiap *epoch* selanjutnya dilakukan perhitungan nilai defleksi vertikalnya.
- r. Setelah dilakukan perhitungan maka akan didapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu. Nilai defleksi didapatkan dari tinggi normal dan tinggi setelah terjadinya defleksi.
- s. Analisis Nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu dengan rumus umum  $\Delta \leq \frac{1}{400} \times L$
- t. Setelah dilakukan analisis dilakukan penarikan kesimpulan dan pemberian saran.



**Diagram 3.3** Metodologi Pengolahan dengan sh\_GAMIT

Pengolahan dengan sh\_GAMIT dilakukan pada operasi *Linux*. Penjelasan dari metode pengolahan dengan sh\_GAMIT pada gambar 3.5 adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan raw data pengamatan *GPS* Jembatan Suramadu, pada penelitian ini data yang digunakan

adalah stasiun *GPS* ITSS, mdr, *GPS* 1, *GPS* 4, dan *GPS* 6.

- b. Download data pendukung untuk pengolahan dengan *GAMIT* yaitu data navigasi orbit satelit dalam format SP3 dan *file* navigasi *RINEX* (*brdcDDD0.YYn*) yang dapat didownload melalui pusat data *SOPAC*. Selain itu juga dibutuhkan data tambahan yang harus ada dalam *table* yaitu *file* gelombang pasang surut air laut (*otl\_FES2004.grd*), *File* atmosfer (*atmdsip\_YYYY*), dan *file* pemodelan cuaca (*vmflgrd.YYYY*) yang dapat didownload pada *ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS/*. Data pendukung tersebut digunakan untuk mereduksi kesalahan-kesalahan dalam pengukuran *GPS*.
- c. Pembuatan direktori kerja dan menghubungkan seluruh *file* yang dibutuhkan seperti *control file* yang terletak pada *~gg/tables/* dengan perintah *sh\_setup -yr 2015 -apr itr08.apr* pada terminal linux.
- d. Editing *file* control pada *folder tables*
  - *File lfile*, berisi koordinat pendekatan dari stasiun pengamatan *GPS* yang digunakan. Koordinat dari stasiun didapatkandari informasi header yang terdapat pada masing *RINEX*-nya.
  - *File* stasiun.info, berisi informasi tentang stasiun titik yang diolah diantaranya adalah tipe *receiver*, tipe *antenna*, informasi waktu (session start dan session stop).
  - *File* sittbl, *file* ini digunakan untuk memasukan constaint dari setiap stasiun yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak *GAMIT*.
  - *File* sestbl, merupakan *file* skenario yang digunakan untuk pengolahan.
  - *File* sites.defaults, adalah *file* yang digunakan dalam automatic batch processing. *File* ini digunakan untuk

mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan dengan *GAMIT* dan *GLOBK*.

- *File process.default*, control *file* ini digunakan untuk menentukan lokasi direktori yang digunakan pada automatic batch processing. *File* ini juga digunakan untuk menentukan *file* navigasi yang digunakan serta *file* yang digunakan pada *GLOBK*.

e. Pengolahan menggunakan *GAMIT*

Untuk menjalankan pengolahan *GAMIT* dengan automatic batch processing dengan menjalankan perintah berikut ini pada direktori kerja.

```
sh_GAMIT -s yyyy ddd1 ddd2 -expt <expt> -nogifs >
sh_GAMIT.log &
```

Keterangan :

yyyy = tahun data yang diolah

ddd1 = *DOY* awal data yang diolah

ddd2 = *DOY* akhir data yang diolah

expt = nama experiment yang sudah ditentukan pada *sites.defaults*.

Hasil yang didapat dari pengolahan *GAMIT* adalah folder sebanyak *DOY* yang diolah. Setiap folder *DOY* terdapat *Hfile* hasil pengolahan *GAMIT* Yang memiliki nama dengan pola h[expt]a.yyddd, dimana [expt] adalah nama experiment, yy adalah dua angka terakhir pada tahun, dan ddd adalah *DOY* dari data yang diolah.

f. Pengolahan menggunakan *GLOBK*

Sebelum masuk ke pengolahan *GLOBK*, hal yang dilakukan adalah Editing *file GLOBK\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd*, yang dapat dicopy dari folder *~/gg/tables*, kemudian *file* tersebut ditempatkan di folder *gsoln* pada nama project. Selanjutnya menjalankan

pengolahan *GLOBK* untuk menghasilkan kecepatan pergeseran secara time series.

```
sh_glred -s YYYY1 DDD1 YYYY2 DDD2 -expt NNNN
-opt H G E
```

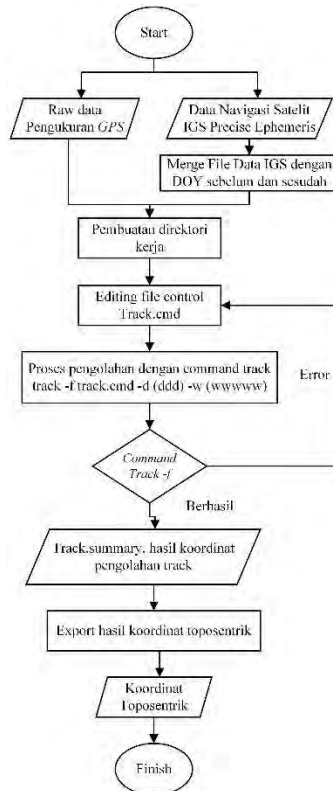
Keterangan :

- YYYY1 : Tahun data yang diolah
- DDD1 : *DOY* awal data yang diolah
- YYYY2 : Tahun akhir data yang diolah
- DDD2 : *DOY* akhir data yang diolah
- Expt : nama project
- H : memindah *h-file* kedalam direktori *glbf*
- G : membentuk *file* ekstensi *gdl* pada setiap *DOY* kedalam direktori *gsoln*
- E : Plotting time series

Hasil dari menjalankan *GLOBK* ini adalah *file* dengan ekstensi *.prt* dan *.org* berisi nilai koordinat sistem kartesian 3D (X, Y, Z), sistem koordinat lokal dalam *easting (E)*, *northing (N)*, dan *up (U)*, koordinat geodetis (Lintang, Bujur, Tinggi); dan koordinat UTM (UTM N, UTM E, dan UTM U) dari tiap stasiun yang terdapat pada *H-file*. Kemudian *file* plotting time series dari software GMT dengan pola *file psbase\_[expt].[GNSS]*, dimana *[expt]* adalah nama project, dan *GPS* adalah nama stasiun *GPS* yang diolah. Setelah itu terdapat *file* yang berisi tentang koordinat lokal toposentris (*easting*, *northing*, *up*) dengan pola nama *VAL.[expt]*, *[expt]* adalah nama experiment.

- g. Karena batasan masalah pada penelitian ini adalah koordinat yang digunakan adalah toposentrik maka export hasil pengolahan toposentrik.





**Diagram 3. 4 Metodologi Pengolahan dengan Command Track**

Pengolahan dengan *command track.cmd* dilakukan pada operasi *Linux*. Penjelasan dari metode pengolahan dengan *command track* pada gambar 3.6 adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan raw data pengamatan *GPS* Jembatan Suramadu, pada penelitian ini data yang digunakan adalah stasiun mdr, *GPS* 1, *GPS* 4, dan *GPS* 6.
- b. Download data pendukung yaitu data navigasi orbit satelit IGS Precise *Ephemeris* dalam format SP3.

- c. Kemudian lakukan penggabungan data SP3 pada *DOY* tertentu dengan *DOY* sebelumnya dan sesudahnya dengan perintah yang terdapat pada terminal linux.
- d. Pembuatan direktori kerja, pengolahan dilakukan tiap *DOY* sehingga buat *file* tiap *DoY*. Tiap *file* berisi raw data pengamatan *GPS* stasiun mdr, *GPS 1*, *GPS 4*, dan *GPS 6* serta data *IGS SP3* yang telah di merge.
- e. Selanjutnya lakukan editing *file* kontrol, perintah pengolahan disimpan dalam *file track.cmd*. Dalam *file* ini berisi mengenai informasi mengenai stasiun *GPS* yang digunakan terkait pendekatan koordinat, jenis *antenna*, tinggi *antenna*. Selain itu juga dilakukan pendefinisian titik *GPS* sebagai *reference station*, dalam penelitian ini stasiun *Base GPS* Suramadu yaitu stasiun mdr didefinisikan sebagai *reference station*.
- f. Selanjutnya jalankan perintah *track -f track.cmd -d (DDD) -w (WWWWW)* pada terminal linux.

Keterangan :

DDD : Day of year pengolahan

WWWWW : *GPS week calendar*

- g. Selanjutnya akan dihasilkan *file track.summary* dan hasil koordinat pengolahan. pada *command track* ini dapat menghasilkan koordinat geosentrik, geodetis, dan toposentrik.
- h. Eksport hasil pengolahan dengan koordinat toposentrik.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengolahan Titik Fix *Base* Suramadu**

Salah satu metode penentuan posisi titik *GPS* adalah secara absolut, metode tersebut dapat ditingkatkan lagi ketelitiannya menggunakan penentuan posisi secara differensial (relatif). Pada penentuan posisi secara differensial, posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (Abidin, 2007).



Gambar 4. 1 *Base GPS* Jembatan Suramadu

Gambar 4.1 menunjukkan lokasi penempatan *Base* yang ada di halaman Gedung *Surabaya Monitoring Building*, Bangkalan.

Pada penelitian kali ini penentuan titik *GPS Base* Suramadu masih menggunakan metode absolut sehingga dibutuhkan satu stasiun referensi *GPS* yang sudah diketahui koordinat fixnya. Pada penelitian ini digunakan *GPS CORS ITSS* (terletak di Jurusan Teknik Geomatika, FTSP, ITS Surabaya) dengan pertimbangan letaknya yang cukup dekat yaitu sekitar 14 km dengan *Base GPS* Suramadu dan *epoch* pengamatan yang sama.

Tabel 4. 1 Koordinat *GPS CORS ITSS*

| Koordinat ITSS |              |
|----------------|--------------|
| X (m)          | -2451305.863 |
| Y (m)          | 5832958.743  |
| Z (m)          | -802864.218  |

Tabel 4.1 menunjukkan koordinat *GPS CORS ITSS* yang telah diketahui.

Setelah dilakukan metode penentuan posisi relatif terhadap *GPS CORS ITSS* maka didapatkan koordinat fix *Base GPS Jembatan Suramadu*.

Tabel 4. 2 Data Koordinat *Base Jembatan Suramadu*

| Koordinat <i>Base</i> Suramadu |               |
|--------------------------------|---------------|
| X (m)                          | -2450684.9219 |
| Y (m)                          | 5835097.5449  |
| Z (m)                          | -789202.0588  |

Tabel 4.2 menunjukkan koordinat *GPS Base* Suramadu dengan metode penentuan posisi relatif terhadap *GPS CORS ITSS*.

#### **4.3 Hasil Pengolahan Tinggi Rover Acuan**

Untuk mendapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu diukur dari permukaan netral awal Jembatan ke posisi netral setelah terjadinya defleksi. Pada penelitian ini permukaan netral awal Jembatan Suramadu menggunakan pengolahan *GPS* secara statik.

Setelah mendapatkan hasil koordinat *GPS base* Suramadu dengan metode penentuan posisi relatif selanjutnya dilakukan pengolahan tinggi *rover* acuan. Pada penelitian ini menggunakan metode penentuan posisi secara relatif yaitu *base* Suramadu yang berfungsi sebagai titik ikat terhadap *rover* yang terpasang di sepanjang sisi Jembatan Suramadu bagian *main bridge*. Pada penelitian ini menggunakan tiga *rover GPS* yaitu *GPS 1*, *GPS 4*, dan *GPS 6*



**Gambar 4. 2** *Antenna Rover GPS Jembatan Suramadu*

Gambar diatas menunjukkan *antenna rover GPS* yang terpasang di bagian *main bridge* Jembatan Suramadu, tepatnya bagian terluar dari sisi jalur sepeda motor.

**Tabel 4. 3** *Koordinat Rover GPS*

| Koordinat | <i>GPS 1</i> | <i>GPS 4</i> | <i>GPS 6</i> |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| X (m)     | -2450346.164 | -2450365.585 | -2450388.653 |
| Y (m)     | 5834815.914  | 5834792.935  | 5834811.924  |
| Z (m)     | -792499.53   | -792605.609  | -792396.189  |

Tabel 4.3 menunjukkan pendekatan koordinat dari *rover GPS 1,4, dan 6* yang menggunakan sistem koordinat geosentrik

Dalam proses pengolahan secara differensial sangat tergantung pada jarak antara sistem referensi dengan titik yang akan diamati posisinya, semakin pendek jarak maka akan semakin baik data yang akan dihasilkan (Wellenhof, 1992).

**Tabel 4. 4** *Panjang Baseline Antar Titik*

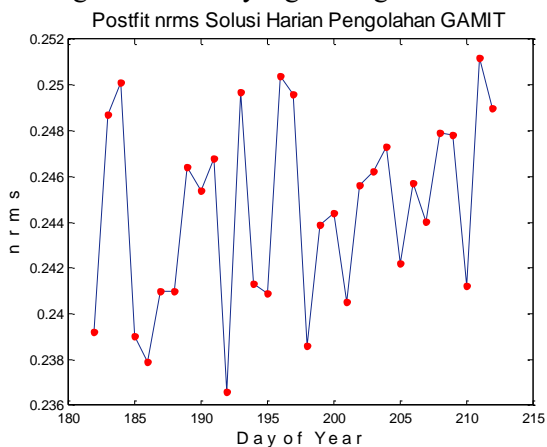
| Sesi               | Panjang <i>Baseline</i> (m) |
|--------------------|-----------------------------|
| Mdr – <i>GPS 1</i> | 3326.839                    |
| Mdr – <i>GPS 4</i> | 3432.102                    |
| Mdr – <i>GPS 6</i> | 3220.594                    |

Pada tabel 4.4 menunjukkan jarak *baseline* antara *base* dengan *GPS 1, 4, dan 6* adalah ada dikisaran 3 km, pada panjang *baseline* itu dikategorikan sebagai *short baseline*.

### 4.3.1 Pengolahan dengan GAMIT

Pengolahan data dengan menggunakan *GAMIT* menghasilkan kumpulan folder tiap *DoY* (*Day of Year*), pada penelitian ini digunakan *DoY* 182 - 212 pada tahun 2015. Dalam setiap folder *DoY* berisikan solusi *GAMIT* (*h-file*), *q-file*, dan *sh\_gamit\_ddd.summary* serta *file-file* lainnya. Ketiga *file* tersebut sudah dapat mewakili informasi parameter yang akan dievaluasi.

Hasil pengolahan *GAMIT* perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui kualitas pengolahan data. Proses evaluasi ini dapat dilakukan dengan cara melihat nilai *nrms* (*normalized root mean square*) hasil pengolahan harian yang didapatkan dari *h-file*. Nilai *nrms* solusi harian  $\leq 0.3$  atau pada umumnya berada pada kisaran 0.2 menunjukkan solusi harian yang baik. (King et al., 2015). Jika nilai *nrms* solusi harian diatas 0.3 mengindikasikan adanya masalah seperti *cycle-slips* yang tidak bisa dihilangkan dan juga stasiun *fix* dengan koordinat yang kurang baik.



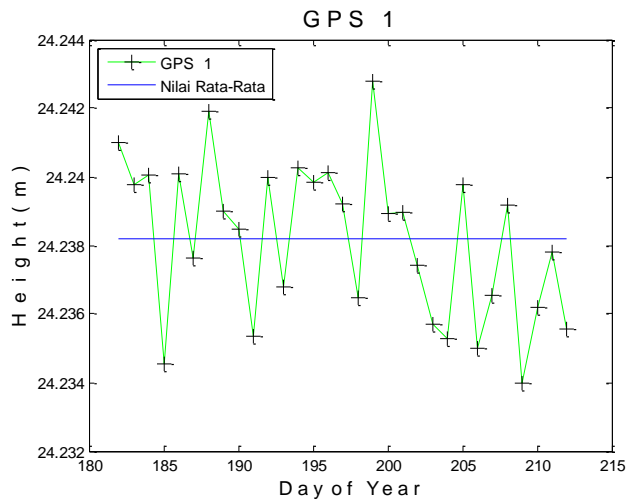
**Gambar 4. 3** Hasil *nrms* Pengolahan *GAMIT*

Dari Gambar 4.3 rata-rata *nrms* pada pengolahan *GAMIT* adalah 0.2445, dengan *nrms* terendah adalah 0.2366 pada *DoY* ke 192 dan *nrms* tertinggi 0.2512 pada *DoY* ke 211. Sehingga dapat disimpulkan hasil pengolahan *GAMIT* berada dikategori yang baik.

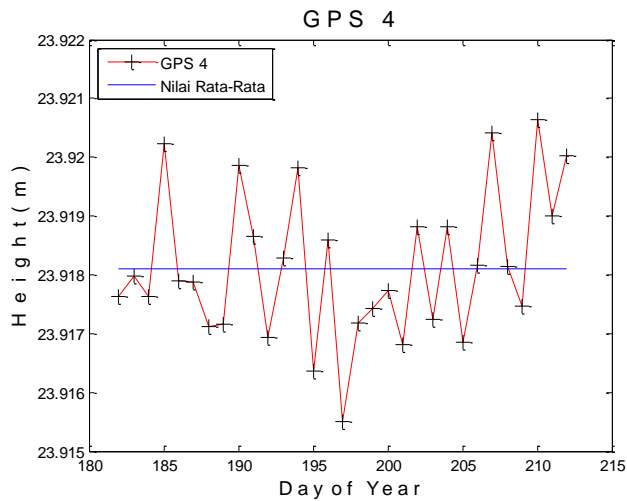
#### **4.3.2 Hasil Pengolahan GLOBK**

*GLOBK* adalah sebuah proses perhitungan kalman filtering yang bertujuan untuk mengkombinasikan solusi dari berbagai pengolahan data geodetik. Pada penelitian ini hasil akhir pengolahan *GLOBK* untuk mendapatkan koordinat toposentrik.

Dalam pengolahan dengan *GLOBK* didapatkan koordinat geosentrik dan toposentrik untuk setiap *DoY*. Selanjutnya export hasil pengolahan toposentrik. Selanjutnya untuk mendapatkan tinggi fix acuan maka dilakukan rata-rata dari keseluruhan tinggi pada setiap *DoY*, setelah dilakukan rata-rata maka didapatkan hasil sebagai berikut :

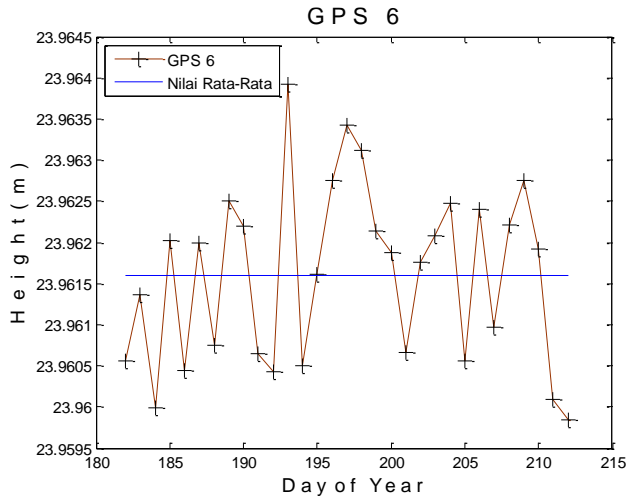


*Gambar 4.4 Hasil Pengolahan GLOBK GPS 1*



*Gambar 4.5 Hasil Pengolahan GLOBK GPS 4*





**Gambar 4. 6** Hasil Pengolahan GLOBK GPS 6

Gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 menunjukkan tinggi toposentrik harian hasil pengolahan *GLOBK*. Sedangkan garis biru adalah tinggi rata-rata.

**Tabel 4. 5** Tinggi *Rover* Acuan

| <i>Rover</i> | Tinggi Toposentrik (m) |
|--------------|------------------------|
| <i>GPS 1</i> | 24.2382                |
| <i>GPS 4</i> | 23.9181                |
| <i>GPS 6</i> | 23.9616                |

Tabel 4.5 menunjukkan hasil rata-rata tinggi toposentrik harian. titik tinggi *rover* acuan yang berada di atas toposentrik yang selanjutnya didefinisikan sebagai tinggi permukaan netral awal Jembatan Suramadu untuk perhitungan defleksi vertikal.

Adapun jika kontrol kualitas data hasil pengolahan *GPS* dengan software *GAMIT* selesai, maka proses selanjutnya adalah mengolah solusi *GAMIT* (*h-file*), yang berisikan matriks kovarian dari data koordinat stasiun, dengan

mengkombinasikan seluruh hasil pengamatan *GPS* dengan *software GLOBK*.

#### **4.3 Hasil Pengolahan Data Rover dengan Metode Kinematic.**

Data hasil pengukuran diolah menggunakan *GAMIT Kinematic Processing* yaitu menggunakan *command track*. Pada proses pengolahan dengan *GAMIT* dibutuhkan data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari pengukuran yaitu *file* observasi dengan format *.o* dengan interval waktu pengamatan 30 detik, sedangkan data sekunder adalah data navigasi orbit satelit *IGS Precise Ephemeris* dalam format *SP3*. Pada pengolahan ini semua perintah pengolahan data akan disimpan dalam *track.cmd*. Kemudian akan dihasilkan data posisi tinggi di atas toposentrik.

```
#Track input file for GPS processing
#lines not starting with a space are a comment
#multi-line commands must be followed by an empty line

#### ##### required commands - track fails without these
obs_file
mdr_ mdr_1820.15o F
gp1_ gp1_1820.15o K
gp4_ gp4_1820.15o K
gp6_ gp6_1820.15o K

nav_file igs182.sp3 sp3

#### ##### necessary commands - track works incorrectly without these
back_type smooth
mode short
out_type NEU+GEOD+XYZ
interval 30.0000
cut_off 15

#### ##### site-specific commands - because Track doesn't read Rinex headers
ante_off
mdr_ 0.0 0.0 0.0000 LEIAT504
gp1_ 0.0 0.0 0.0000 LEIAX1202GG
gp4_ 0.0 0.0 0.0000 LEIAX1202GG
gp6_ 0.0 0.0 0.0000 LEIAX1202GG

antmod_file ~/gg/tables/antmod.dat
site_pos
mdr_ -2450688.3432 5835107.0374 -789208.9565
gp1_ -2450345.7117 5834816.5792 -792499.6304
gp4_ -2450365.1300 5834793.5925 -792605.7102
gp6_ -2450387.2176 5834814.2865 -792398.7202
```

**Gambar 4. 7** Perintah pengolahan *track.cmd*

#### 4.3.1 Hasil Pengolahan Data GPS 1 Juli 2015

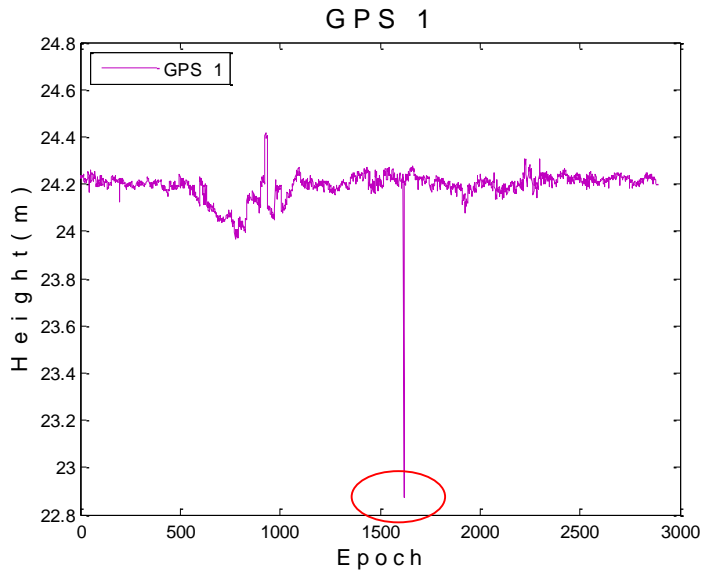
Berikut adalah hasil yang didapatkan dengan pengolahan menggunakan *GAMIT* metode kinematik pada tanggal 1 Juli 2015.

Tabel 4. 6 Data Pengolahan GPS 1 Juli 2015

| Parameter | GPS 1     | GPS 4     | GPS 6    |
|-----------|-----------|-----------|----------|
| H Max (m) | 24.4155   | 24.0973   | 24.2926  |
| H Min (m) | 22.8735   | 23.2095   | 22.5737  |
| Mean (m)  | 24.193324 | 23.894289 | 23.93739 |
| STD       | 0.0580911 | 0.065397  | 0.064784 |

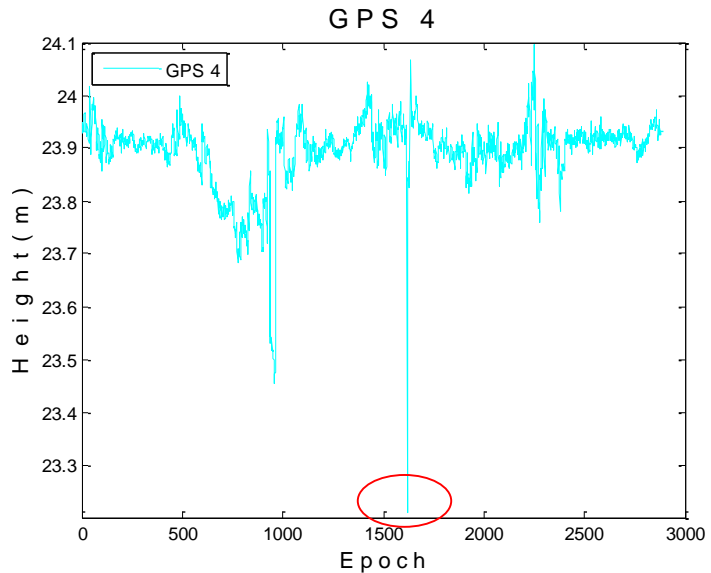
Hasil dari pengolahan *command track* terlihat dalam gambar dibawah ini, plotting koordinat dengan menggunakan *Matlab* :

Data yang dihasilkan pada pengolahan ini masih terdapat adanya data *outliers* yang belum dihilangkan sehingga menyebabkan hasil yang didapat kurang baik. Untuk menghilangkan data *outliers* maka perlu dilakukan proses *filtering* agar data yang tidak sesuai dengan kriteria dapat dihilangkan. Penghilangan *outliers* dengan melakukan *filtering* penting untuk dilakukan karena posisi dari *rover* yang terganggu oleh beberapa objek seperti lokasi *rover* dekat dengan pagar jembatan, pylon, dan tiang penyangga jembatan, selain itu juga dengan adanya pengaruh *cycle slips*. Data *outliers* ditunjukkan pada lingkaran merah pada gambar :



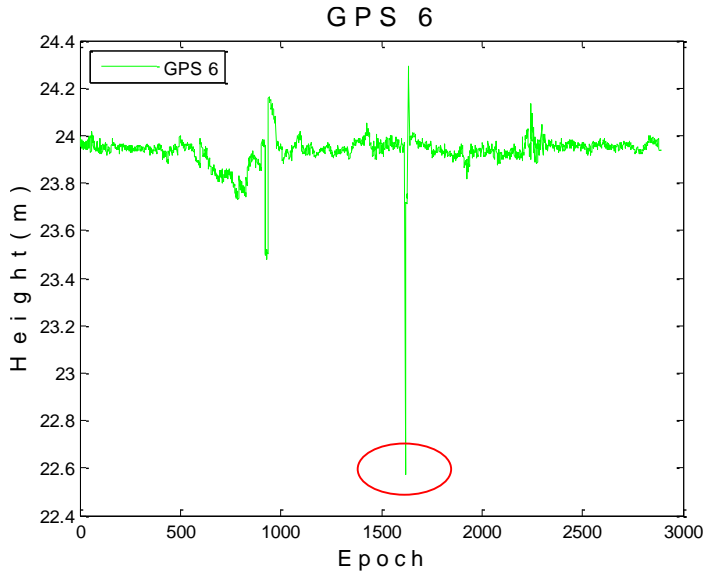
**Gambar 4. 8** Hasil Pengolahan Kinematic GPS 1

Gambar 4.10 merupakan hasil pengolahan *command track* setelah dilakukan plotting dengan interval perekaman data 30 detik. Berdasarkan gambar 4.10 didapatkan ada beberapa titik yang mengalami perubahan koordinat secara signifikan yaitu pada *epoch* ke 1618 dengan tinggi 22.8735 meter dan tinggi pada koordinat sebelum dan sesudahnya adalah 24.2075 meter dan 24.1991 meter. Hal ini menunjukkan adanya perubahan yang signifikan karena perubahan tinggi setiap *epoch*-nya pada penelitian ini adalah berkisar pada mm, hal ini mengindikasikan adanya *outliers* (Abidin, 2007).



**Gambar 4. 9** Hasil Pengolahan Kinematic GPS 4

Gambar 4.11 merupakan hasil pengolahan *command track* setelah dilakukan plotting dengan interval perekaman data 30 detik. Berdasarkan gambar 4.11 didapatkan ada beberapa titik yang mengalami perubahan koordinat secara signifikan yaitu pada *epoch* ke 1618 dengan tinggi 23.2095 meter dan tinggi pada koordinat sebelum dan sesudahnya adalah 23.9212 meter dan 23.2095 meter.



**Gambar 4.10** Hasil Pengolahan Kinematic GPS 6

Gambar 4.12 merupakan hasil pengolahan *command track* setelah dilakukan plotting dengan interval perekaman data 30 detik. Berdasarkan gambar 4.12 didapatkan ada beberapa titik yang mengalami perubahan koordinat secara signifikan yaitu pada *epoch* ke 1618 dengan tinggi 22.5737 meter dan tinggi pada koordinat sebelum dan sesudahnya adalah 23.9453 meter dan 23.6906 meter.

Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 menunjukkan masih adanya *outliers* pada hasil pengolahan *GAMIT* oleh karena itu perlu adanya proses *filtering*

Untuk proses pengolahan data pada tanggal 2 – 31 Juli 2015 hasil pengolahannya akan ditampilkan pada lembar lampiran.

#### **4.4 Menghilangkan Data Outliers**

Dari hasil yang didapatkan dari pengolahan menggunakan *command track*, dapat dilihat masih adanya beberapa *outliers* koordinat.

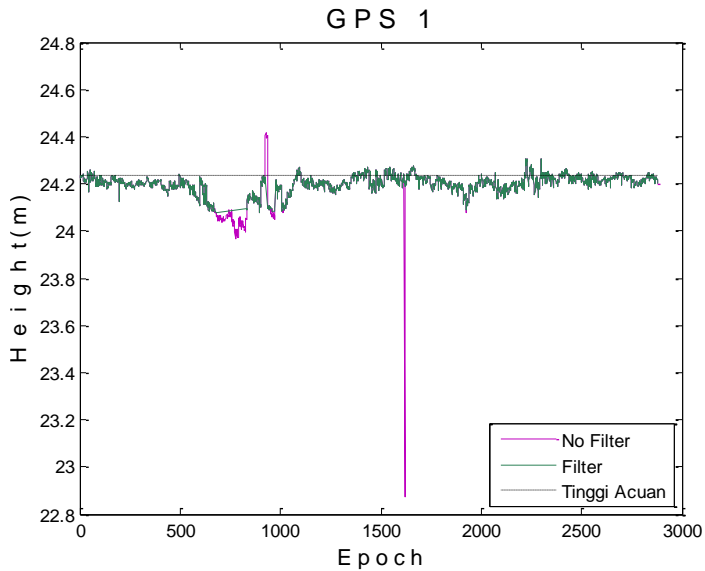
Untuk mendeteksi adanya *outliers* maka menurut (Abidin, 2002) *outliers* dapat dikenali dari perubahan nilai koordinat secara signifikan dari koordinat yang berada disekitarnya.

Adanya *outliers* dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti *cycleslip* maupun *multipath* yang terjadi saat pengukuran. Faktor tersebut dapat terjadi karena posisi dari *antenna* yang mendapat gangguan dari lingkungan sekitar, seperti pagar pembatas jembatan, kabel penyangga jembatan, *pylon*, dan juga faktor lainnya yang dapat menyebabkan adanya *multipath* dan *cycleslip*.

Untuk menghilangkan data *outliers* menggunakan cara *filtering* dengan distribusi normal tingkat kepercayaan data 95%. Distribusi normal memiliki parameter distribusi yaitu rata-rata (mean  $\mu$ ) dan deviasi standar (standard deviation  $\sigma$ ). Untuk nilai tingkat kepresisian pengukuran, digunakan interval kepercayaan 95%. Dengan faktor pengali  $k$  1,96 untuk 95% *certainty*, hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran berada pada  $\pm 1,96 \sigma$ . Sehingga data yang tidak termasuk dari toleransi akan direduksi.

##### **4.4.1 Hasil Pengolahan Data GPS 1 Juli 2015**

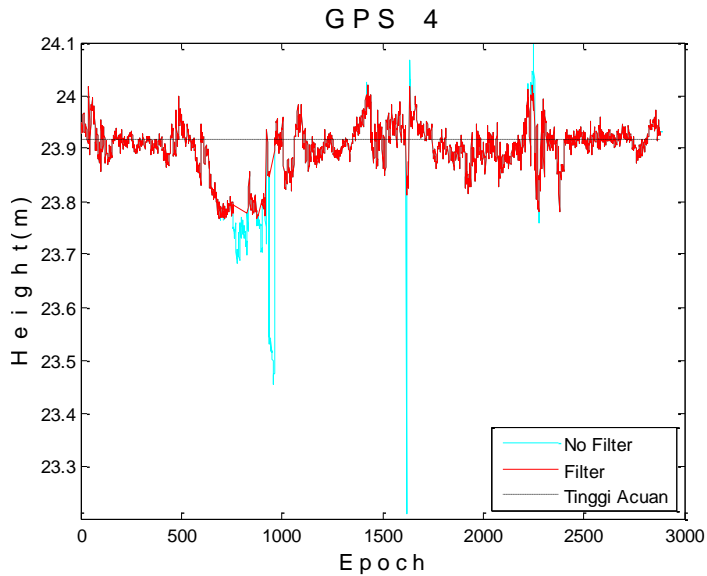
Setelah dilakukan penghilangan *outliers* maka akan didapatkan grafik pengukuran seperti gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 11** Hasil Filtering GPS 1

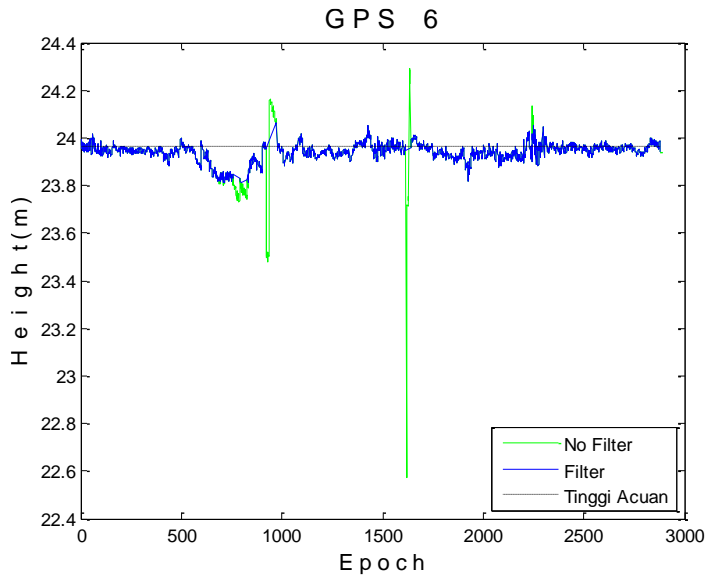
Gambar 4.13 menunjukkan hasil proses filtering. Garis berwarna hijau menunjukkan tinggi koordinat setelah dilakukannya filtering, tampak bahwa *outliers* sudah direduksi. Setelah dilakukan proses perhitungan dengan distribusi normal kepercayaan data 95% GPS 1 memiliki toleransi batas atas 24.2691 meter dan batas bawah 24.1357 meter. Tinggi koordinat yang tidak memenuhi batas tersebut telah direduksi





**Gambar 4. 12 Hasil Filtering GPS 4**

Gambar 4.14 menunjukkan hasil proses filtering. Garis berwarna merah menunjukkan tinggi koordinat setelah dilakukannya filtering, tampak bahwa *outliers* sudah direduksi. Setelah dilakukan proses perhitungan dengan distribusi normal kepercayaan data 95% GPS 4 memiliki toleransi batas atas 23.98480 meter dan batas bawah 23.82175 meter. Tinggi koordinat yang tidak memenuhi batas tersebut telah direduksi



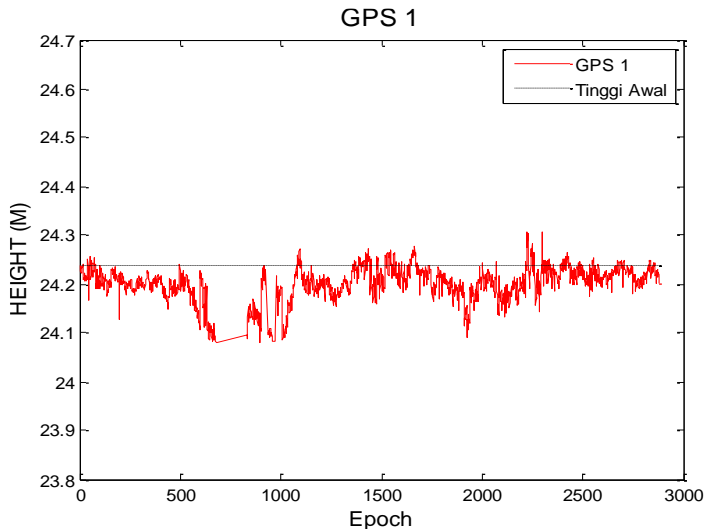
Gambar 4. 13 Hasil Filtering GPS 6

Gambar 4.15 menunjukkan hasil proses filtering. Garis berwarna hijau menunjukkan tinggi koordinat setelah dilakukannya filtering, tampak bahwa *outliers* sudah direduksi. Setelah dilakukan proses perhitungan dengan distribusi normal kepercayaan data 95% *GPS 6* memiliki toleransi batas atas 24.00844 meter dan batas bawah 23.87578 meter. Tinggi koordinat yang tidak memenuhi batas tersebut telah direduksi.

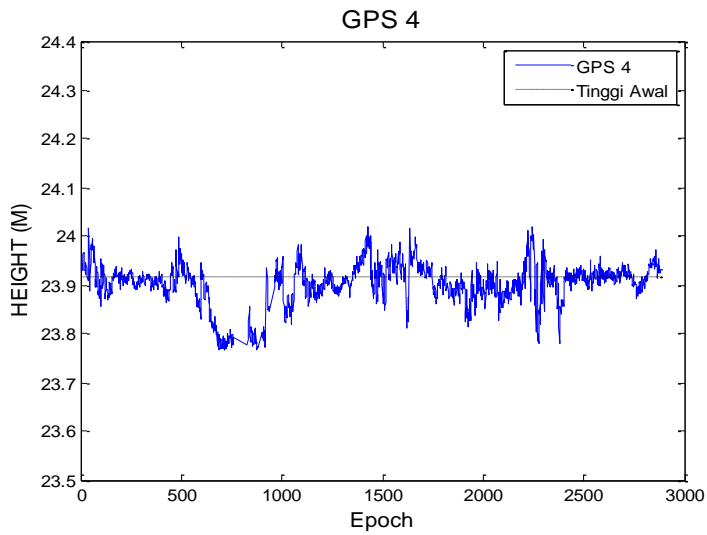
Tabel 4. 7 Hasil Pengolahan Data Setelah *Outliers* Dihilangkan

| Parameter | GPS 1    | GPS 4    | GPS 6    |
|-----------|----------|----------|----------|
| H Max (m) | 24.3071  | 24.0201  | 24.0625  |
| H Min (m) | 24.0795  | 23.7663  | 23.8123  |
| MEAN (m)  | 24.20243 | 23.90327 | 23.94211 |
| STD       | 0.034039 | 0.041594 | 0.033843 |

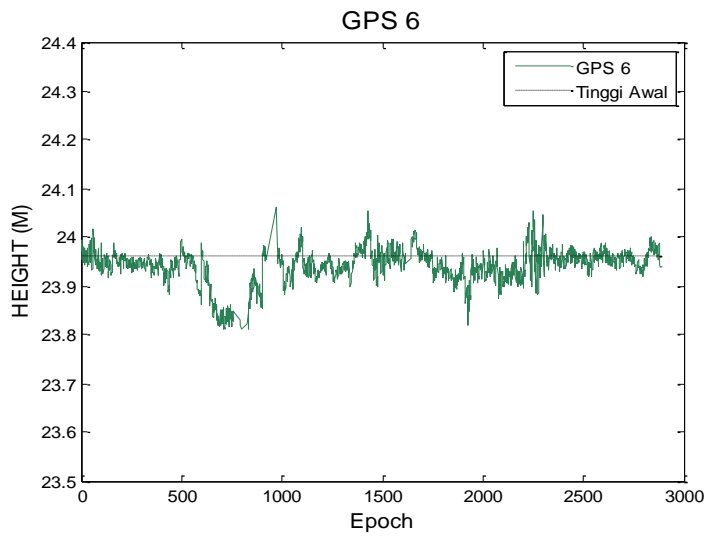
Tabel 4.7 menunjukkan keseluruhan hasil pengolahan setelah data *outliers* dihilangkan. Setelah data terbebas dari *outliers* maka didapatkan nilai standar deviasi yang lebih baik dibandingkan dengan sebelum *outliers* dihilangkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan dihilangkannya *outliers* maka nilai standar deviasi menjadi lebih baik.



**Gambar 4. 14** Hasil Filtering GPS 1



*Gambar 4. 15 Hasil Filtering GPS 4*



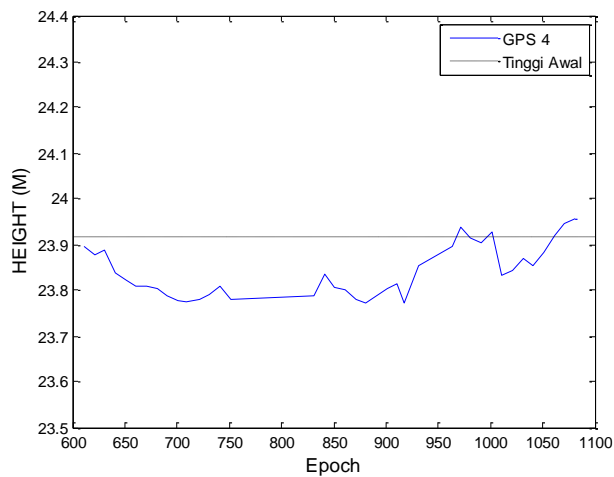
*Gambar 4. 16 Hasil Filtering GPS 6*

Gambar 4.14, 4.15, dan 4.16 menunjukkan hasil akhir pengolahan *GPS* setelah dilakukan *filtering* sehingga *outliers* dapat direduksi. Terlihat dari ketiga grafik tersebut defleksi terbesar terjadi mulai dari epoch ke 600 hingga ke 1000 yaitu pada kisaran pukul 05.00 hingga pukul 08.00 BBWI, hal ini dapat disebabkan karena banyaknya kendaraan yang melintas pada saat itu.

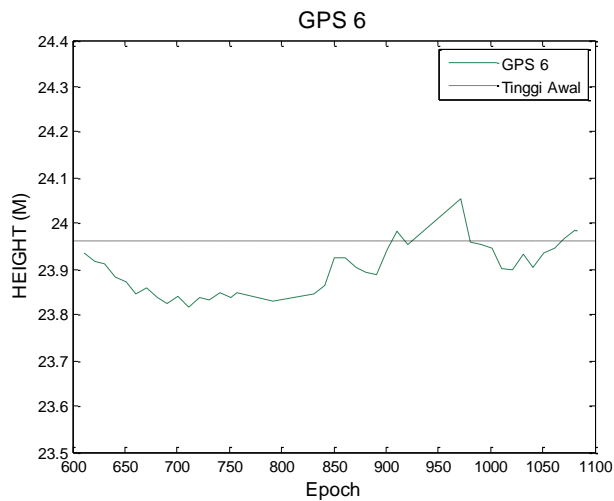
#### **4.5 Analisis Korelasi Defleksi Vertikal dengan Beban**

##### **Kendaraan**

Setelah dilakukan penghilangan data *outliers* langkah selanjutnya adalah melakukan analisis korelasi beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu terhadap defleksi vertikal yang terjadi pada Jembatan Suramadu. Uji korelasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Korelasi *Pearson*. Uji korelasi dilakukan pada jam 05.00 – 09.00 BBWI karena defleksi terbesar terjadi pada saat itu. Data beban kendaraan didapatkan dari sensor *WIM (Weight in motion)* yang terpasang di Jembatan Suramadu.

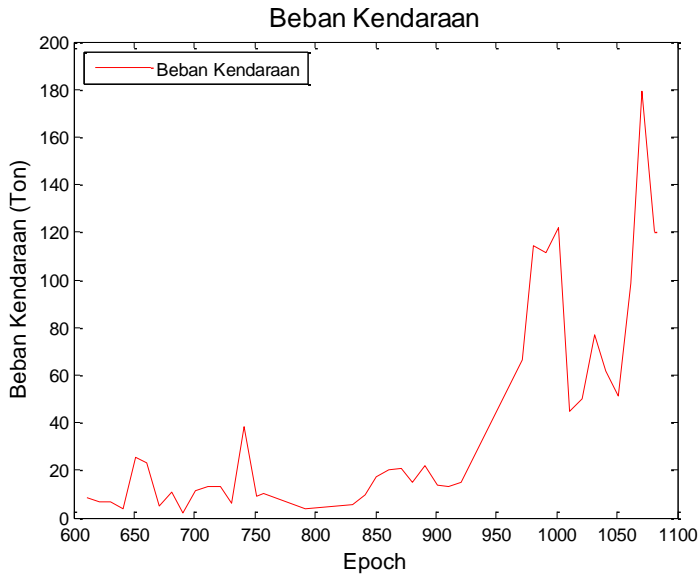


**Gambar 4. 17** Defleksi pada GPS 4 pada pukul 05.00 – 09.00 BBWI



**Gambar 4. 18** Defleksi pada GPS 6 pada pukul 05.00 – 09.00 BBWI

Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan defleksi vertikal yang terjadi pada pukul 05.00 – 09.00 BBWI. Pada jam tersebut terjadi defleksi terbesar sehingga akan dilakukan analisis terhadap beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu pada jam tersebut.



**Gambar 4. 19** Data beban kendaraan yang Melintasi Jembatan Suramadu

Gambar 4.19 adalah data beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu pada pukul 05.00 – 09.00 BBWI yang didapatkan menggunakan sensor *WIM (Weight in Motion)*.

**Tabel 4. 8** Tabel Analisis korelasi *Pearson*

|                |              |        |
|----------------|--------------|--------|
| Defleksi GPS 4 | Traffic load | -0.189 |
| Defleksi GPS 6 | Traffic load | -0.121 |

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan korelasi pearson maka didapatkan hasil : Koefesien korelasi menunjukkan kekuatan (strength) hubungan linear dan arah hubungan dua variabel acak. Jika koefesien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Sebaliknya, jika koefesien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah (dan sebaliknya).

Dengan menggunakan korelasi pearson maka didapatkan nilai korelasi beban kendaraan dengan defleksi vertikal pada *GPS* 4 adalah -0.189 dan nilai korelasi beban kendaraan terhadap defleksi vertikal pada *GPS* 6 adalah -0.121.

Nilai korelasi diatas dapat dikategorikan korelasi sangat lemah karena berada pada interval 0.000 hingga 0.199. sehingga berdasar data defleksi GPS dan data WIM menunjukan bahwa korelasi bernilai negatif, sehingga hubungan antara 2 variabel bersifat berlawanan arah. Apabila beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu besar, maka jembatan mengalami defleksi kearah bawah dari tinggi permukaan netral awalnya, semakin besar beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu maka akan semakin besar defleksinya ke arah bawah dari tinggi permukaan netral awalnya.

Rendahnya nilai korelasi dapat disebabkan karena sensor data beban kendaraan yang dapat digunakan hanya satu lajur yaitu dari Madura menuju Surabaya, sedangkan sensor beban kendaraan dari Surabaya menuju Madura tidak dapat digunakan karena adanya kerusakan komponen. Sehingga beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu dari Surabaya menuju Madura tidak diperhitungkan.



#### **4.6 Analisis Hasil Pengolahan GPS dengan Batas Defleksi**

Jembatan Suramadu memiliki batas toleransi maksimal defleksi vertikal yangizinkan. Batas Defleksi Vertikal yang diperbolehkan untuk Bentang utama adalah (Hidayat, 2011):

$$\Delta \leq \frac{1}{400} \times L \quad (4.1)$$

dimana L adalah panjang bentang tengah suramadu yaitu sejauh : 434 m, sehingga akan didapatkan toleransi defleksi maksimum sejauh  $\leq 1.085$  m.

Perhitungan defleksi dihitung dari dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadinya defleksi. Pada penelitian ini tinggi permukaan netral awal menggunakan tinggi koordinat hasil pengolahan secara statik. Pada penelitian ini dihitung besar defleksi vertikal ke arah atas dan ke arah bawah dari tinggi permukaan netralnya. Hasil pengolahan ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Detail nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu dijabarkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 9 Perhitungan Defleksi GPS 1

| DoY | GPS 1     |           |         | Direction |          |
|-----|-----------|-----------|---------|-----------|----------|
|     | H Max (m) | H Min (m) | STD     | Up (m)    | Down (m) |
| 182 | 24.3071   | 24.0795   | 0.03404 | 0.0689    | 0.1587   |
| 183 | 24.2809   | 24.1129   | 0.02845 | 0.0427    | 0.1253   |
| 185 | 24.2844   | 24.0951   | 0.04126 | 0.0462    | 0.1431   |
| 186 | 24.29     | 24.1041   | 0.03421 | 0.0518    | 0.1341   |
| 187 | 24.283    | 24.074    | 0.04067 | 0.0448    | 0.1642   |
| 188 | 24.2806   | 24.0935   | 0.03656 | 0.0424    | 0.1447   |
| 189 | 24.2707   | 24.1123   | 0.02838 | 0.0325    | 0.1259   |
| 190 | 24.2836   | 24.0825   | 0.04053 | 0.0454    | 0.1557   |
| 191 | 24.3535   | 23.9529   | 0.10076 | 0.1153    | 0.2853   |

|     |         |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|---------|--------|--------|
| 192 | 24.2819 | 24.1134 | 0.02789 | 0.0437 | 0.1248 |
| 193 | 24.2639 | 24.0965 | 0.03612 | 0.0257 | 0.1417 |
| 195 | 24.2919 | 24.1116 | 0.03709 | 0.0537 | 0.1266 |
| 197 | 24.2765 | 24.1331 | 0.02703 | 0.0383 | 0.1051 |
| 198 | 24.258  | 24.0936 | 0.03786 | 0.0198 | 0.1446 |
| 199 | 24.2745 | 24.0826 | 0.04192 | 0.0363 | 0.1556 |
| 200 | 24.2997 | 24.0547 | 0.05148 | 0.0615 | 0.1835 |
| 201 | 24.2832 | 24.0845 | 0.03881 | 0.0450 | 0.1537 |
| 202 | 24.2732 | 24.1074 | 0.03375 | 0.0350 | 0.1308 |
| 203 | 24.2816 | 24.1264 | 0.02860 | 0.0434 | 0.1118 |
| 204 | 24.2766 | 24.1059 | 0.03291 | 0.0384 | 0.1323 |
| 205 | 24.2901 | 24.088  | 0.04157 | 0.0519 | 0.1502 |
| 206 | 24.4678 | 23.9198 | 0.09436 | 0.2296 | 0.3184 |
| 207 | 24.2583 | 24.135  | 0.02749 | 0.0201 | 0.1032 |
| 208 | 24.278  | 24.0941 | 0.03780 | 0.0398 | 0.1441 |
| 210 | 24.283  | 24.0875 | 0.03958 | 0.0448 | 0.1507 |
| 211 | 24.2734 | 24.097  | 0.04056 | 0.0352 | 0.1412 |

Tabel 4. 10 Perhitungan Defleksi GPS 4

| DoY | GPS 4     |           |         | Direction |          |
|-----|-----------|-----------|---------|-----------|----------|
|     | H Max (m) | H Min (m) | STD     | Up (m)    | Down (m) |
| 182 | 24.0201   | 23.7663   | 0.04159 | 0.1020    | 0.1518   |
| 183 | 24.0248   | 23.7524   | 0.05374 | 0.1067    | 0.1657   |
| 185 | 24.0215   | 23.7662   | 0.04447 | 0.1034    | 0.1519   |
| 186 | 24.1037   | 23.7229   | 0.05066 | 0.1856    | 0.1952   |
| 187 | 24.23     | 23.5954   | 0.08054 | 0.3119    | 0.3227   |
| 188 | 24.0196   | 23.7742   | 0.05021 | 0.1015    | 0.1439   |
| 189 | 24.0988   | 23.6707   | 0.04730 | 0.1807    | 0.2474   |
| 190 | 24.0271   | 23.7202   | 0.05986 | 0.1090    | 0.1979   |
| 191 | 24.0767   | 23.6241   | 0.08610 | 0.1586    | 0.2940   |
| 192 | 24.2412   | 23.6088   | 0.03601 | 0.3231    | 0.3093   |
| 193 | 24.042    | 23.7518   | 0.04833 | 0.1239    | 0.1663   |
| 195 | 24.2496   | 23.6408   | 0.05301 | 0.3315    | 0.2773   |
| 197 | 24.0912   | 23.6982   | 0.04189 | 0.1731    | 0.2199   |

|     |         |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|---------|--------|--------|
| 198 | 24.0637 | 23.6629 | 0.05941 | 0.1456 | 0.2552 |
| 199 | 24.043  | 23.745  | 0.04691 | 0.1249 | 0.1731 |
| 200 | 24.0786 | 23.7002 | 0.06638 | 0.1605 | 0.2179 |
| 201 | 24.0501 | 23.7497 | 0.04724 | 0.1320 | 0.1684 |
| 202 | 24.2209 | 23.7144 | 0.04660 | 0.3028 | 0.2037 |
| 203 | 24.0869 | 23.7422 | 0.04545 | 0.1688 | 0.1759 |
| 204 | 24.175  | 23.6328 | 0.05713 | 0.2569 | 0.2853 |
| 205 | 24.1085 | 23.6967 | 0.05276 | 0.0528 | 0.2214 |
| 206 | 24.0888 | 23.7232 | 0.06510 | 0.1707 | 0.1949 |
| 207 | 24.1378 | 23.6719 | 0.04082 | 0.2197 | 0.2462 |
| 208 | 24.0123 | 23.7782 | 0.04049 | 0.0942 | 0.1399 |
| 210 | 24.2417 | 23.5885 | 0.06510 | 0.3236 | 0.3296 |
| 211 | 24.0345 | 23.759  | 0.04243 | 0.1164 | 0.1591 |

Tabel 4. 11 Perhitungan Defleksi GPS 6

| DoY | GPS 6     |           |         | Direction |          |
|-----|-----------|-----------|---------|-----------|----------|
|     | H Max (m) | H Min (m) | STD     | Up (m)    | Down (m) |
| 182 | 24.0625   | 23.8123   | 0.03384 | 0.1009    | 0.1493   |
| 183 | 24.0197   | 23.8584   | 0.02723 | 0.0581    | 0.1032   |
| 185 | 24.0212   | 23.8411   | 0.03548 | 0.0596    | 0.1205   |
| 186 | 24.0206   | 23.8585   | 0.03007 | 0.0590    | 0.1031   |
| 187 | 24.0285   | 23.824    | 0.03568 | 0.0669    | 0.1376   |
| 188 | 24.0187   | 23.8422   | 0.03576 | 0.0571    | 0.1194   |
| 189 | 24.0157   | 23.863    | 0.02356 | 0.0541    | 0.0986   |
| 190 | 24.0198   | 23.8382   | 0.03540 | 0.0582    | 0.1234   |
| 191 | 24.0845   | 23.7181   | 0.07109 | 0.1229    | 0.2435   |
| 192 | 24.0432   | 23.849    | 0.02680 | 0.0816    | 0.1126   |
| 193 | 24.0055   | 23.8452   | 0.03538 | 0.0439    | 0.1164   |
| 195 | 24.0312   | 23.8602   | 0.03388 | 0.0696    | 0.1014   |
| 197 | 24.0605   | 23.6667   | 0.04024 | 0.0989    | 0.2949   |
| 198 | 24.0445   | 23.7951   | 0.03861 | 0.0829    | 0.1665   |
| 199 | 24.018    | 23.8371   | 0.03642 | 0.0564    | 0.1245   |
| 200 | 24.0308   | 23.7821   | 0.04713 | 0.0692    | 0.1795   |
| 201 | 24.0147   | 23.8414   | 0.03305 | 0.0531    | 0.1202   |

|     |         |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|---------|--------|--------|
| 202 | 24.0144 | 23.855  | 0.03057 | 0.0528 | 0.1066 |
| 203 | 24.019  | 23.8757 | 0.02512 | 0.0574 | 0.0859 |
| 204 | 24.0129 | 23.8592 | 0.02894 | 0.0513 | 0.1024 |
| 205 | 24.0261 | 23.8452 | 0.03389 | 0.0645 | 0.1164 |
| 206 | 24.0512 | 23.7999 | 0.04676 | 0.0896 | 0.1617 |
| 207 | 23.9946 | 23.8844 | 0.02297 | 0.0330 | 0.0772 |
| 208 | 24.0194 | 23.8434 | 0.03340 | 0.0578 | 0.1182 |
| 210 | 24.0416 | 23.8217 | 0.03992 | 0.0800 | 0.1399 |
| 211 | 24.0069 | 23.8538 | 0.03436 | 0.0453 | 0.1078 |

Tabel diatas menunjukkan hasil perhitungan nilai defleksi vertikal maksimal harian Jembatan Suramadu pada tanggal 1 – 31 Juli 2015. *H Max* adalah nilai tinggi maksimal *rover* pada tinggi toposentrik. Sedangkan *H Min* adalah nilai tinggi paling rendah. Kemudian *STD* adalah standar deviasi, menunjukkan sebaran data pada hari tersebut. Kemudian dihitung nilai defleksi, yaitu nilai defleksi maksimal kearah atas (*up*) dan nilai defleksi maksimal ke arah bawah (*down*) dari tinggi permukaan netral awal, tinggi permukaan netral awal didapatkan dari proses pengolahan metode statik yang telah dilakukan sebelumnya.

Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa defleksi vertikal Jembatan Suramadu masih dalam batas toleransi dengan defeksi maksimal yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Defleksi maksimal pada *GPS* 1 adalah 0.2296 m ke arah atas dan 0.3184 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal.
- Defleksi maksimal pada *GPS* 4 adalah 0.3315 m ke arah atas dan 0.3296 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal.
- Defleksi maksimal pada *GPS* 6 adalah 0.1229 m ke arah atas dan 0.2949 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal.

#### **4.7 Analisis Defleksi dengan Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian yang terkait dengan Jembatan Suramadu yaitu penelitian (Maris, 2011) dengan judul “ Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh *Traffic Load*” dan dihasilkan

telah terjadi deformasi vertikal sebesar 56,891 cm ke atas dan 41,915 cm ke bawah dari posisi rata-ratanya diatas ellipsoid. Penelitian ini menggunakan teknologi *GPS* metode kinematik untuk mengetahui seberapa besar pergerakan vertikal Jembatan Suramadu akibat satuan mobil penumpang. Pergerakan vertikal dari penelitian ini adalah  $1.6385 \times 10^{-15}$  cm akibat adanya satu satuan mobil penumpang. Hubungan antara perubahan tersebut dengan muatan traffic yang melaju di atasnya didapatkan hubungan linier negatif yang lemah.

Selanjutnya penelitian oleh (Rezki, 2014) dengan judul “Studi Pergeseran Sementara (Defleksi Vertikal) Jembatan Suramadu”. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan pada bentang tengah Jembatan Suramadu menggunakan *GPS* geodetik dan digunakan data penunjang *IGS Precise Ephemeris*. Hasil penelitian ini menunjukkan defleksi sementara bentang tengah jembatan Suramadu pada tanggal 07 April 2014 sebesar 0,978 m pada *GPS* 1 dan 0,101 m pada *GPS* 2 serta pada tanggal 19 Maret 2015 sebesar 0,080 m pada *GPS* 1 dan 0,280 m pada *GPS* 2 dimana posisi tinggi yang didapatkan merupakan posisi rata-rata jembatan saat bergerak dikurangi posisi saat jembatan mengalami elevasi terendah diatas permukaan ellipsoid.

Pada penelitian sebelumnya terdapat kesamaan untuk mengamati defleksi vertikal Jembatan Suramadu. Namun terdapat perbedaan dari sumber datanya yaitu bila pada penelitian sebelumnya menggunakan data primer sedangkan pada penelitian ini menggunakan data pengukuran *GPS* Jembatan Suramadu yang dimiliki oleh unit SMKS (sistem monitoring kehandalan struktur jembatan) Jembatan Suramadu. Untuk sistem tinggi yang digunakan pada penelitian sebelumnya menggunakan tinggi di atas permukaan ellipsoid sedangkan pada penelitian ini menggunakan tinggi di atas permukaan toposentrik.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Surat Permohonan Data



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA**

Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp: 031-5929486-87 / 5994261-66, Fax: 031-5929487, PABX: 1149  
E-mail: geodesy@its.ac.id  
<http://www.geomatika.its.ac.id>

Surabaya, 3 Februari 2016

Nomor : 105 /IT2.3.I.4/TU.00.09/2016  
Perihal : Permohonan Bantuan Data  
Lampiran : -

Kepada Yth:

Pejabat Pembuat Komitmen Unit Pengelola *SMKS* Jembatan Suramadu  
Jl. Raya Waru No. 20 Sidoarjo, 61256

Dengan hormat,

Sehubungan dengan kegiatan Tugas Akhir mahasiswa kami angkatan 2012 Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang berjudul "Analisa Defleksi Vertikal Jembatan Suramadu Menggunakan *GPS CORS SHMS* Jembatan Suramadu", dengan ini kami mengharapkan kerjasama berupa permohonan data sebagai berikut :

| NO | DATA   |
|----|--|
| 1  | Data pengamatan GPS Jembatan Suramadu pada bulan Agustus 2015 sampai dengan Desember 2015. |
| 2  | Sumber referensi yang terkait dengan topik Tugas Akhir.                                    |

Adapun nama mahasiswa tersebut adalah :

Nama : I Dewa Gede Putra Wirawan

NRP : 3512 100 089

Demikian atas perhatian dan bantuannya kami mengucapkan banyak terima kasih.



Mokhammad N.W. Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NID. 1981-12-23 200501 1 002

## Lampiran 2 Surat Balasan Permohonan Data

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <b>KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT</b>  |  |
|   | <b>DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA</b>   |  |
|   | <b>BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL V</b>   |  |
|   | Jl. Raya Waru No. 20 Sidoarjo 61258 Telp. 031-8540196 Fax. 031-8634884 Email : b2pjns@yahoo.co.id |  |

|          |                           |                          |
|----------|---------------------------|--------------------------|
| Nomor    | : UM 01.03 - BW / 349 - I | Sidoarjo, 4 Januari 2016 |
| Lampiran | :                         |                          |

Kepada Yth.  
 Ketua Jurusan Teknik Geomatika  
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - ITS  
 Kampus ITS Sukolilo  
 di  
 SURABAYA

Perihal : Konfirmasi Permohonan Data

Menunjuk surat Ketua Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember nomor : 780/IT2.3.1.4/TU.00.09/2015 tanggal 7 Desember 2015 perihal permohonan data bersama ini kami sampaikan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan atas permohonan mahasiswa Bapak tersebut di bawah ini :

Nama : I Dewa Gede Putra Wirawan  
 NRP : 3512100089

untuk mendapat kesempatan mendapatkan dan menggunakan data yang dibutuhkan guna penyusunan tugas akhir dengan judul " Analisa Deformasi Jembatan Dengan Data Rinx GPS Observation Jembatan Suramadu",

Demikian konfirmasi kami sampaikan, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.



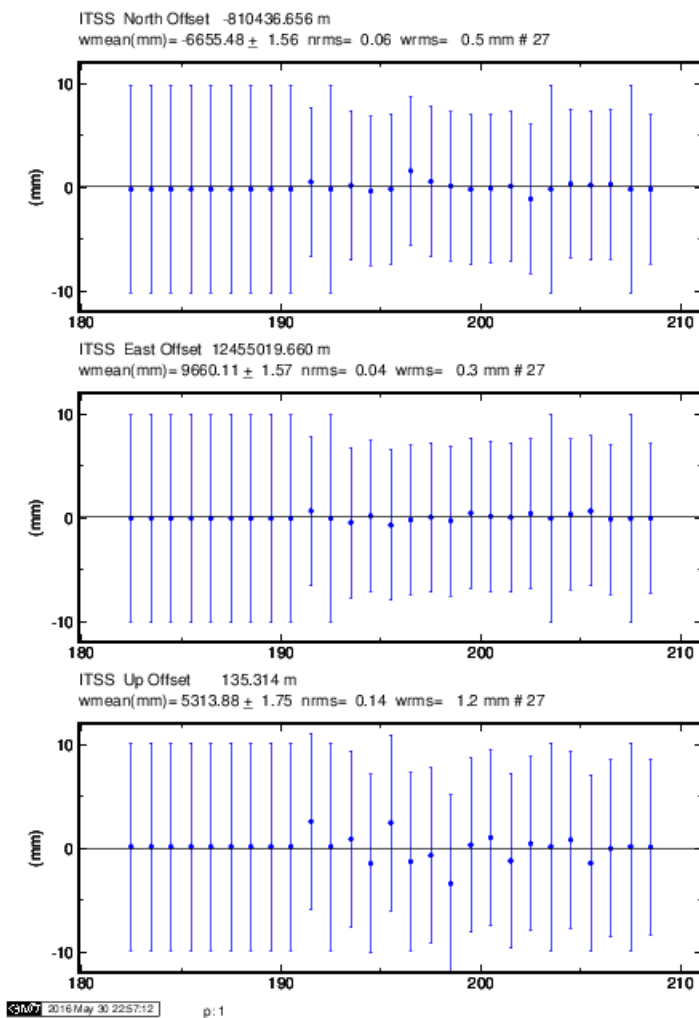
An, KEPALA BALAI BESAR  
 PELAKSANAAN JALAN NASIONAL V  
 Kepala Bagian Tata Usaha,  
 W. TRIPUDIARTO, MSC  
 NIP. 19690528 198603 1 008

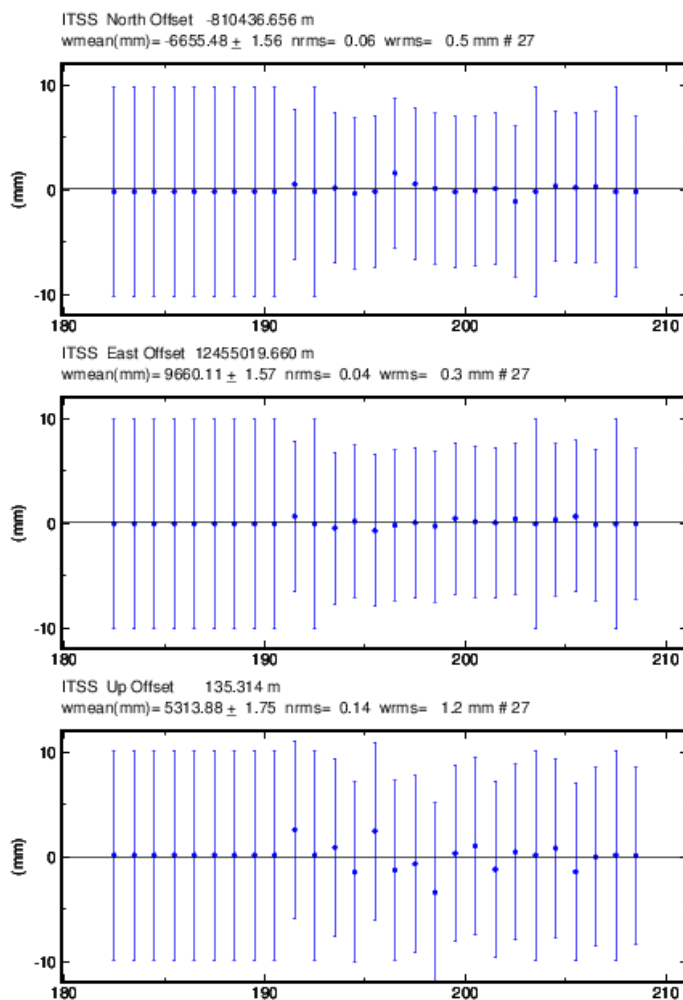
Tembusan, disampaikan Kepada Yth.:

1. Kepala Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional V (sebagai laporan).
2. Pejabat Pembuat Komitmen Unit Pengelola SMKS Jembatan Suramadu.

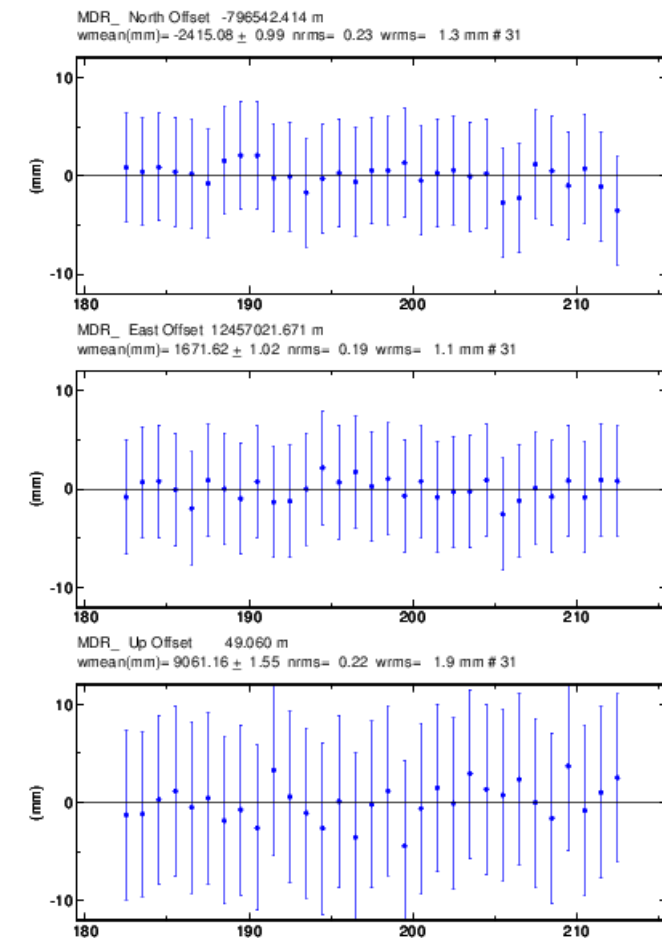


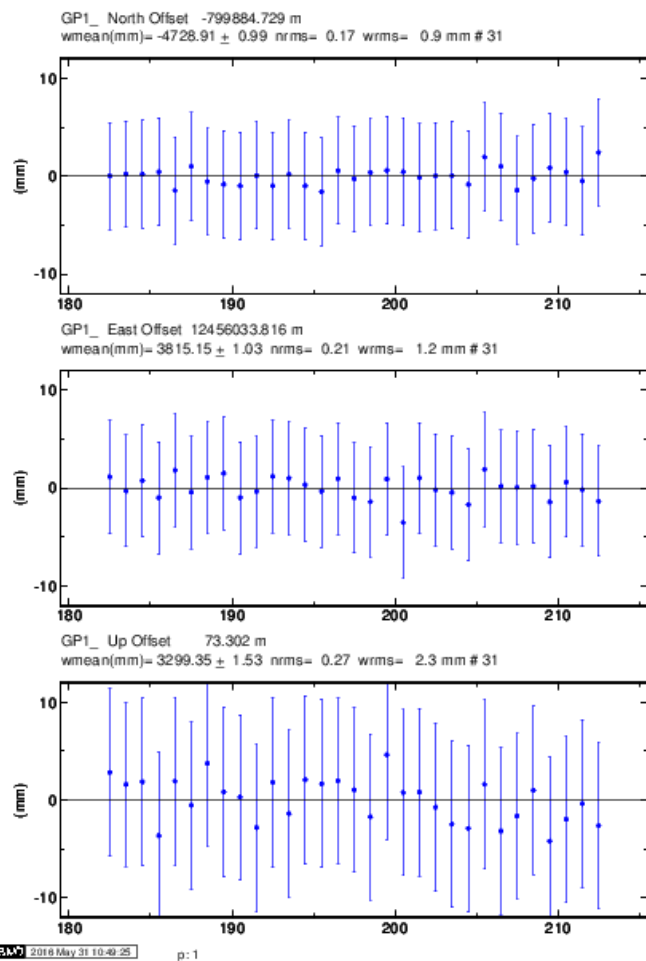
### *Lampiran 3 Hasil Pengolahan Pengikatan Koordinat Suramadu*

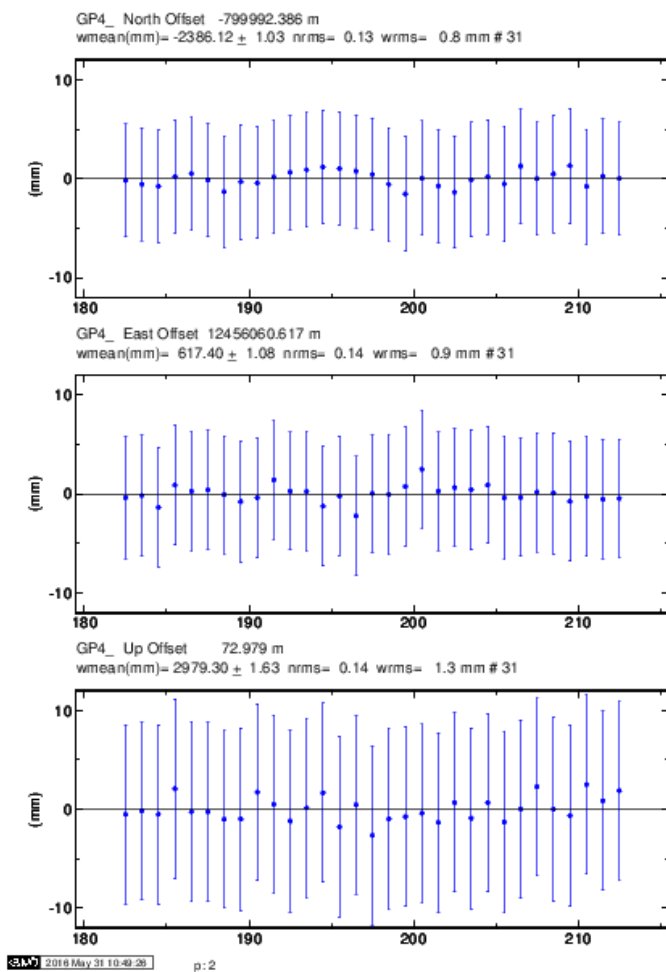




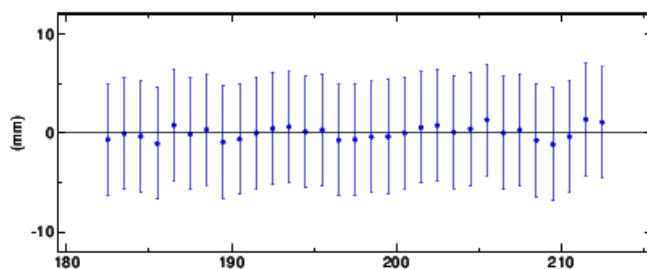
### *Lampiran 4 Hasil Pengolahan Koordinat Permukaan Netral Rover*



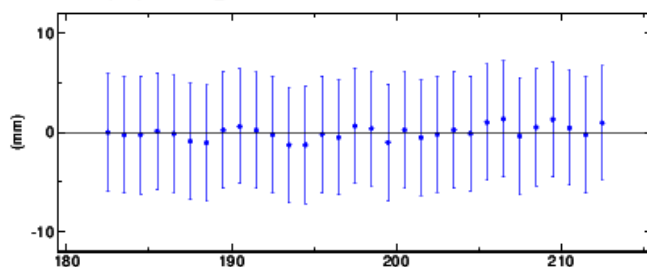




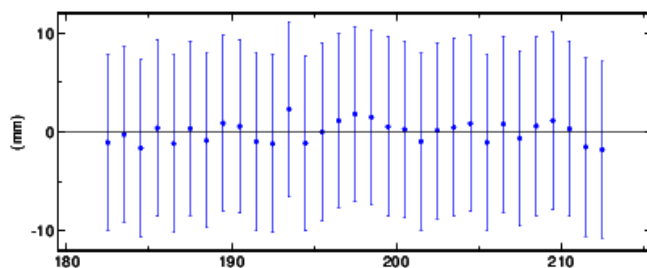
GP6\_ North Offset -799779.913 m  
wmean(mm)= -9912.05  $\pm$  1.01 nrms= 0.12 wrms= 0.7 mm # 31



GP6\_ East Offset 12456074.539 m  
wmean(mm)= 4538.72  $\pm$  1.05 nrms= 0.12 wrms= 0.7 mm # 31

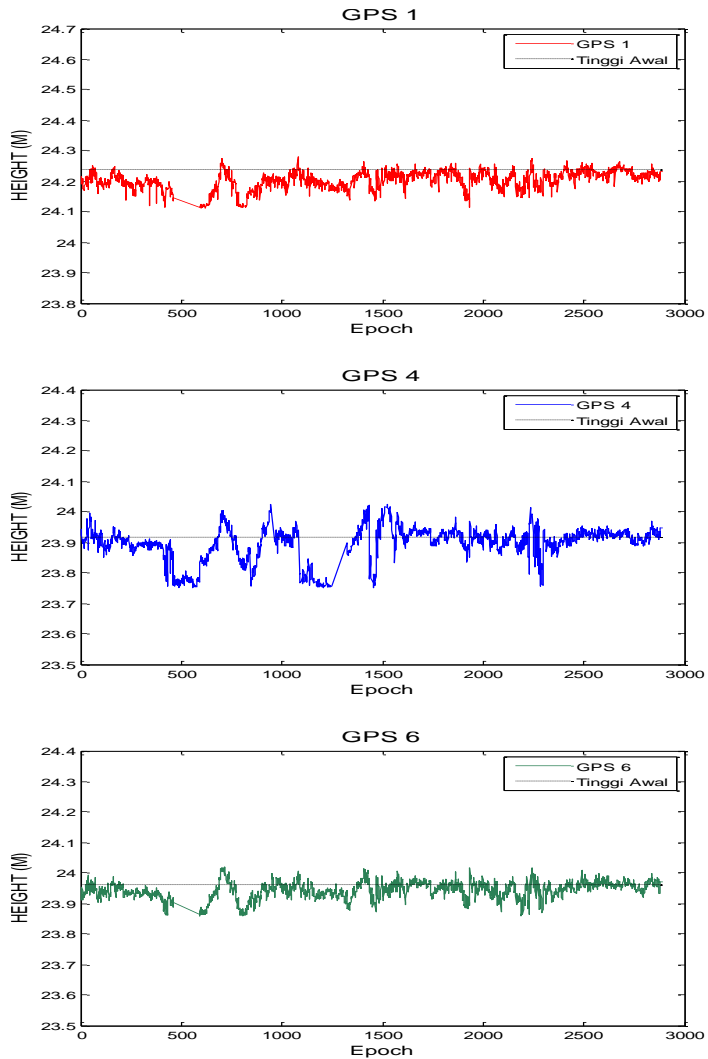


GP6\_ Up Offset 73.022 m  
wmean(mm)= 3022.78  $\pm$  1.60 nrms= 0.12 wrms= 1.1 mm # 31

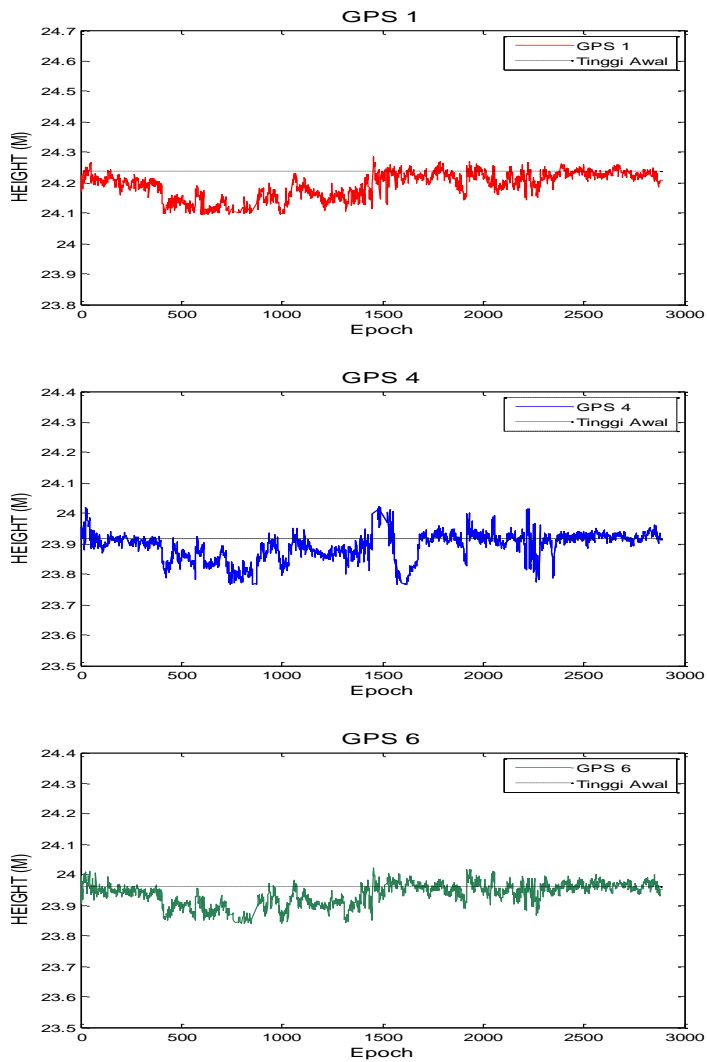


### *Lampiran 5 Hasil Pengolahan GPS Metode Kinematik*

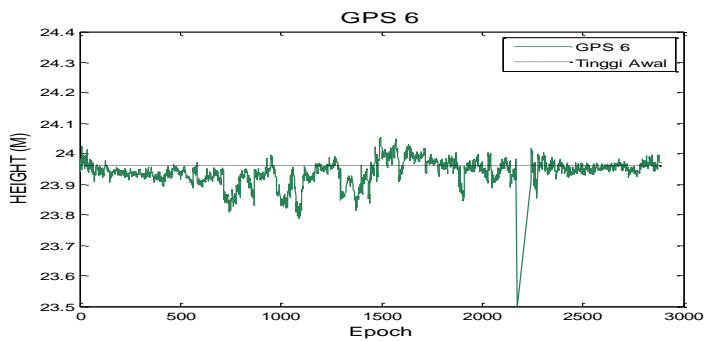
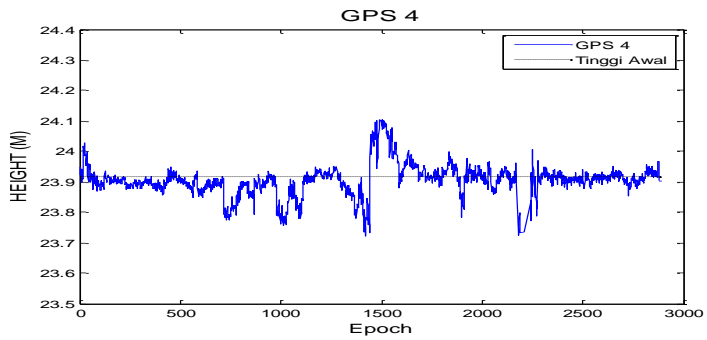
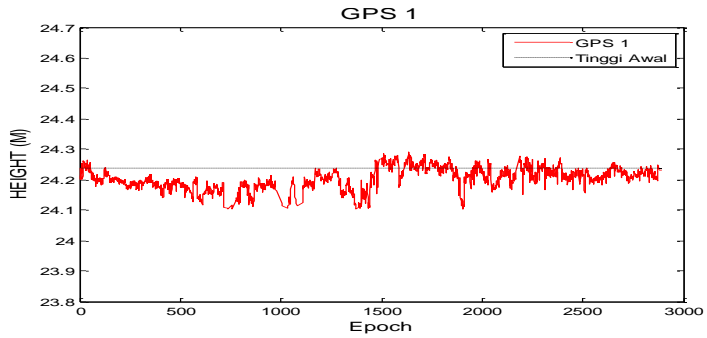
Hasil Pengolahan Data GPS 2 Juli 2015



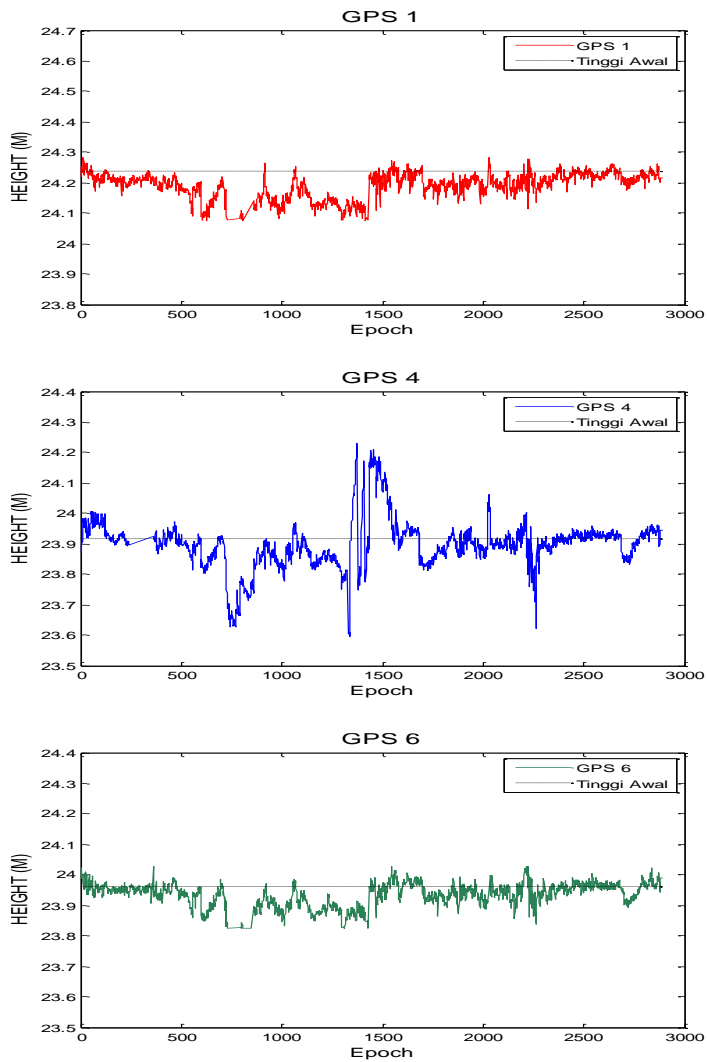
Hasil Pengolahan Data *GPS* 4 Juli 2015

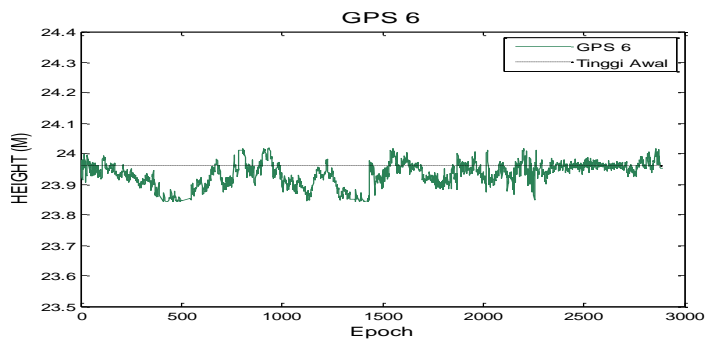
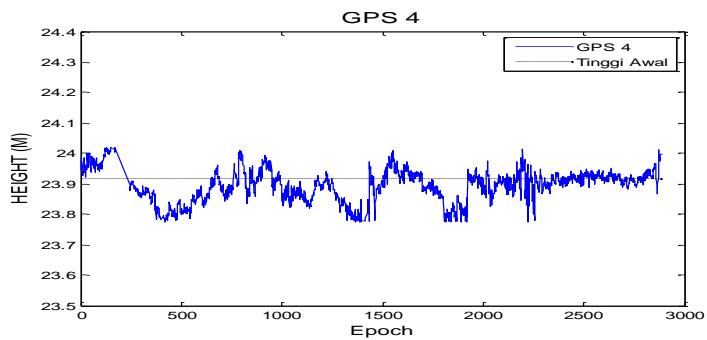
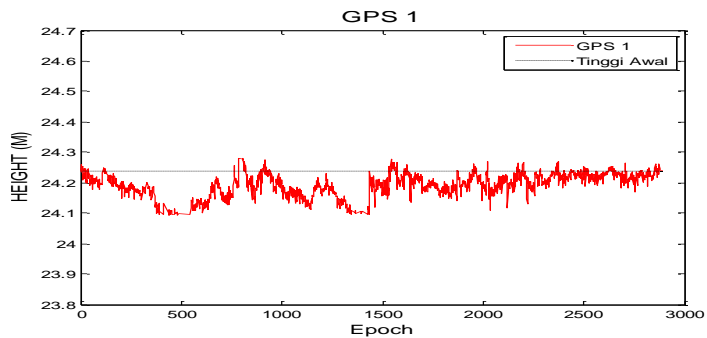




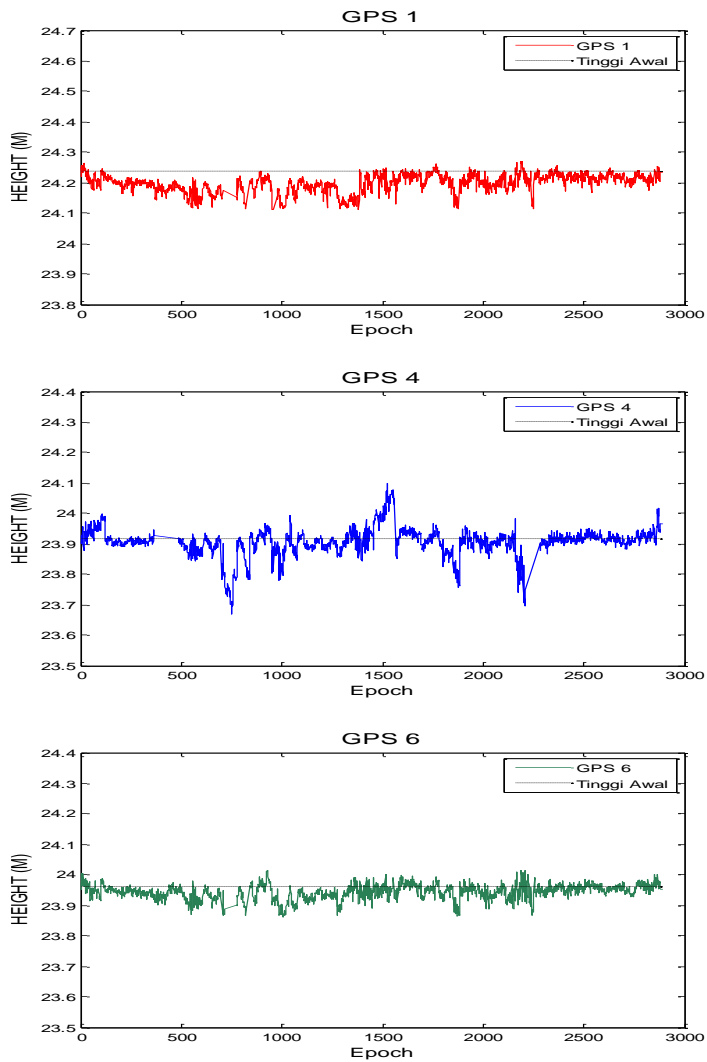
Hasil Pengolahan Data *GPS* 5 Juli 2015

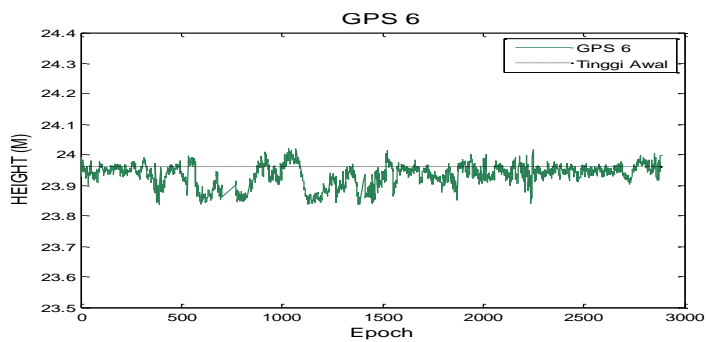
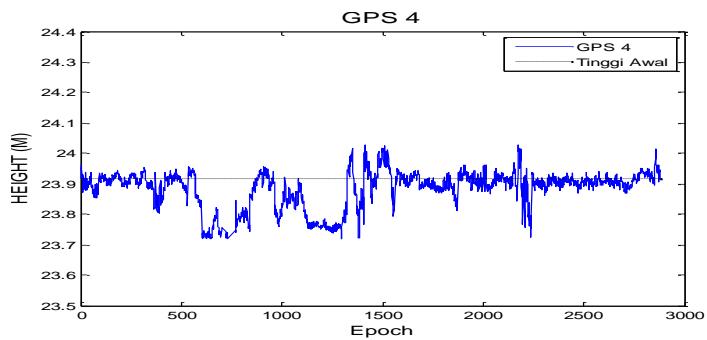
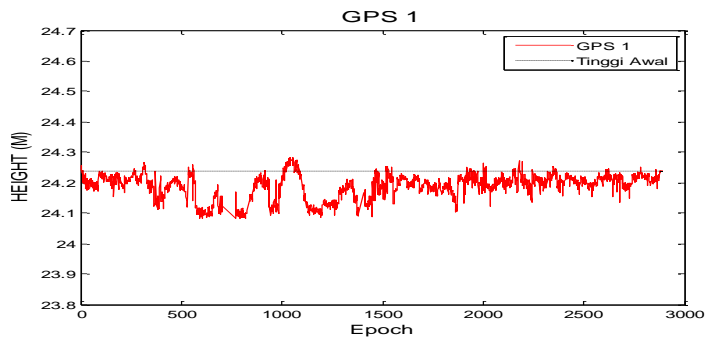
Hasil Pengolahan Data *GPS* 6 Juli 2015



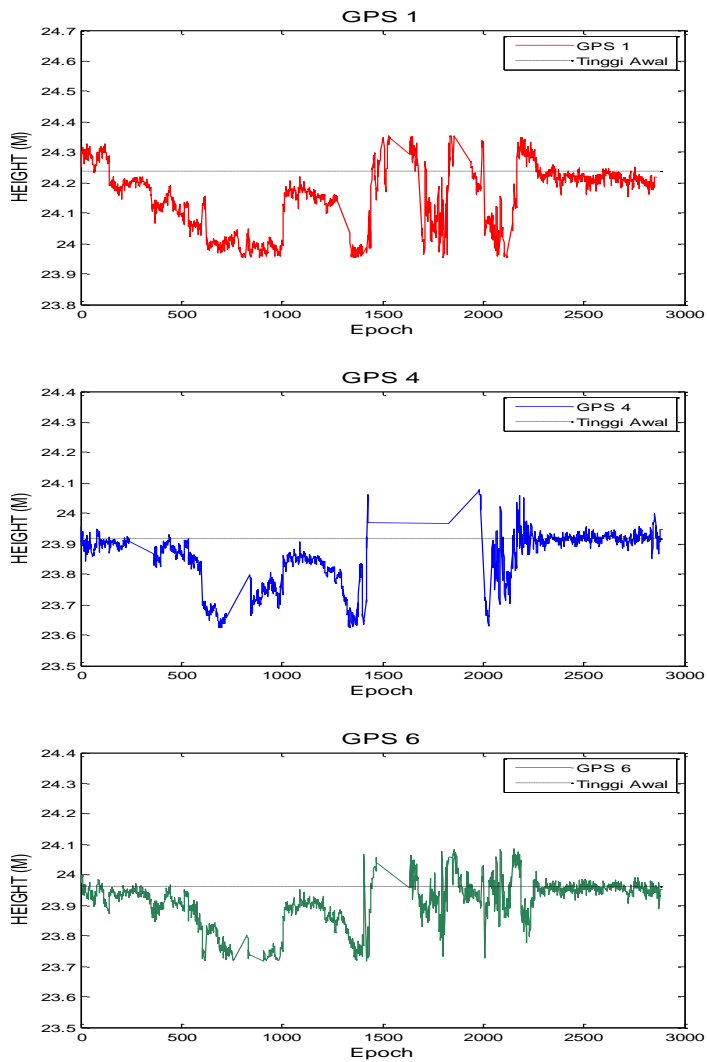
Hasil Pengolahan Data *GPS* 7 Juli 2015

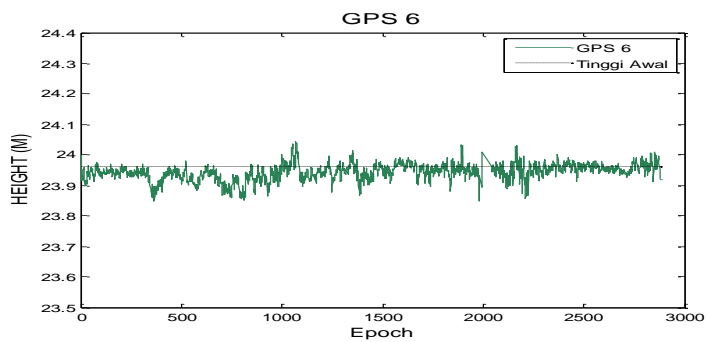
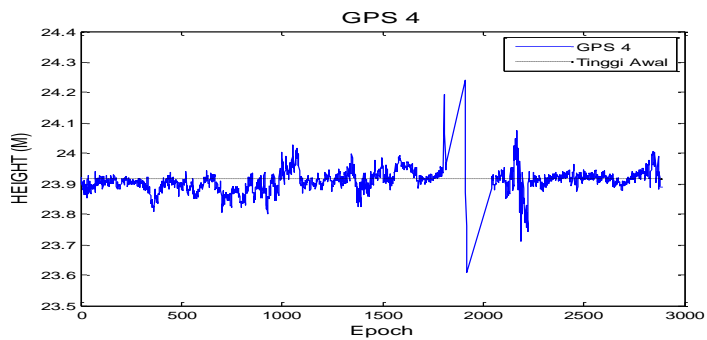
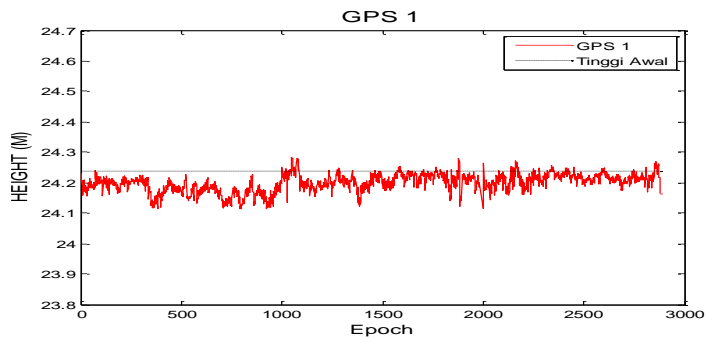
Hasil Pengolahan Data *GPS* 8 Juli 2015



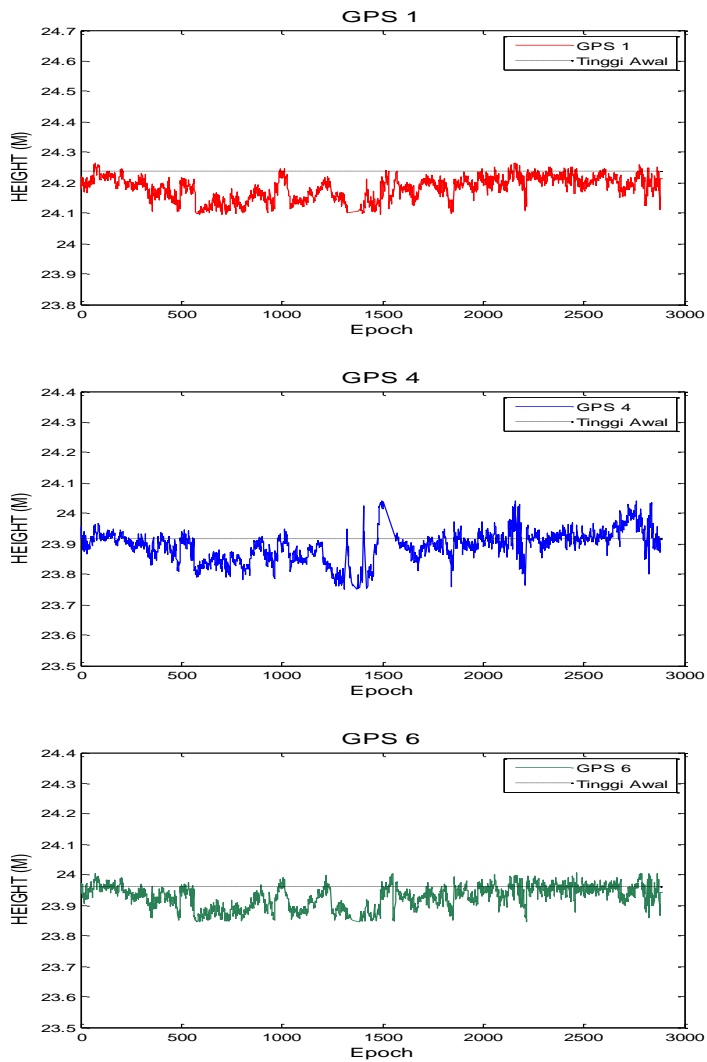
Hasil Pengolahan Data *GPS* 9 Juli 2015

Hasil Pengolahan Data *GPS* 10 Juli 2015



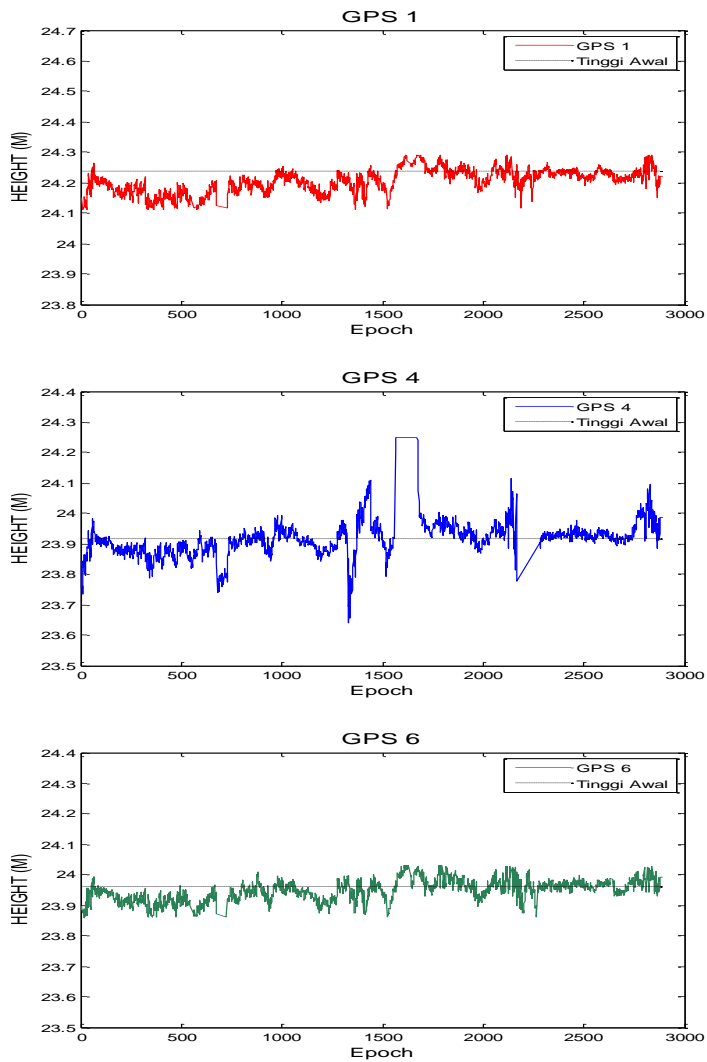
Hasil Pengolahan Data *GPS* 11 Juli 2015

Hasil Pengolahan Data *GPS* 12 Juli 2015

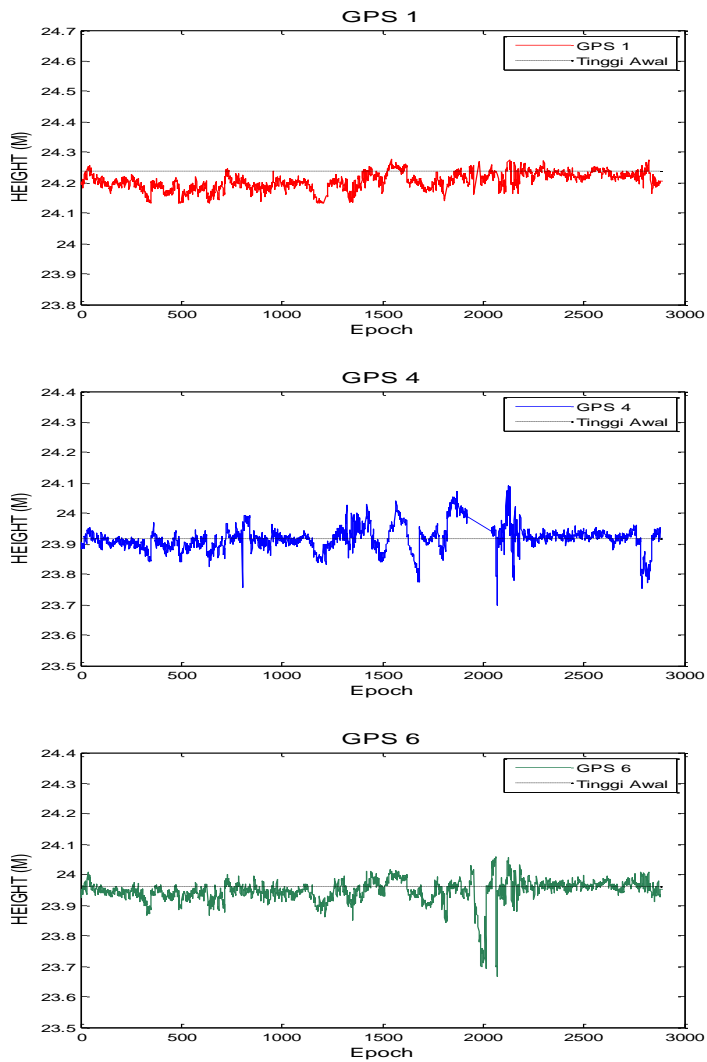


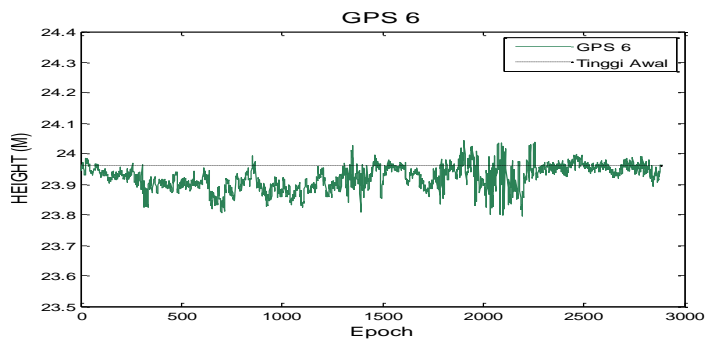
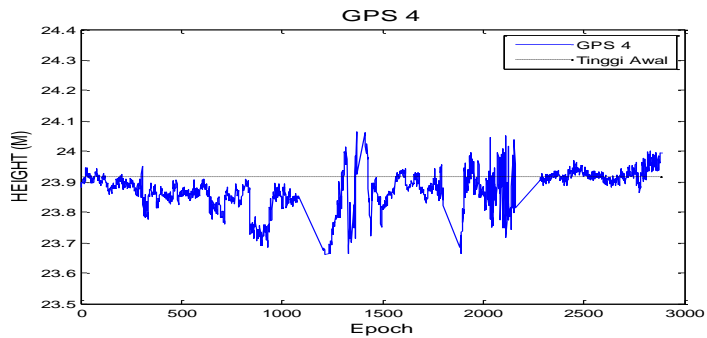
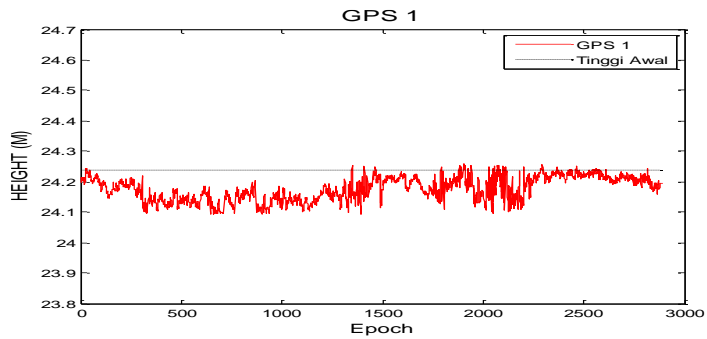


Hasil Pengolahan Data *GPS* 14 Juli 2015

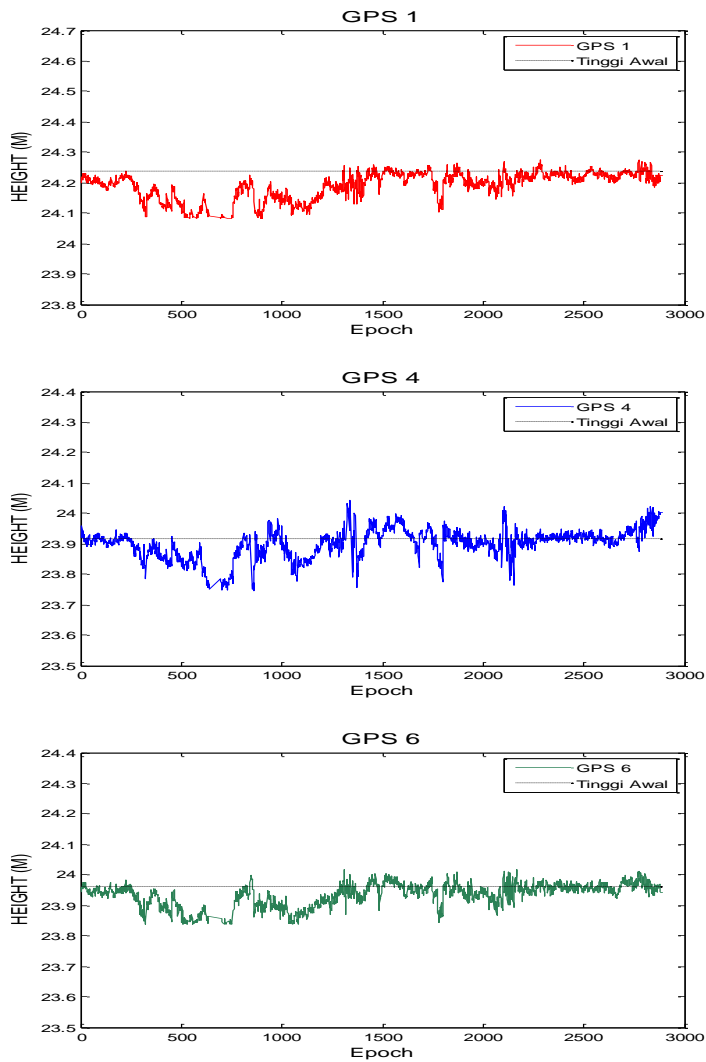


Hasil Pengolahan Data *GPS* 16 Juli 2015

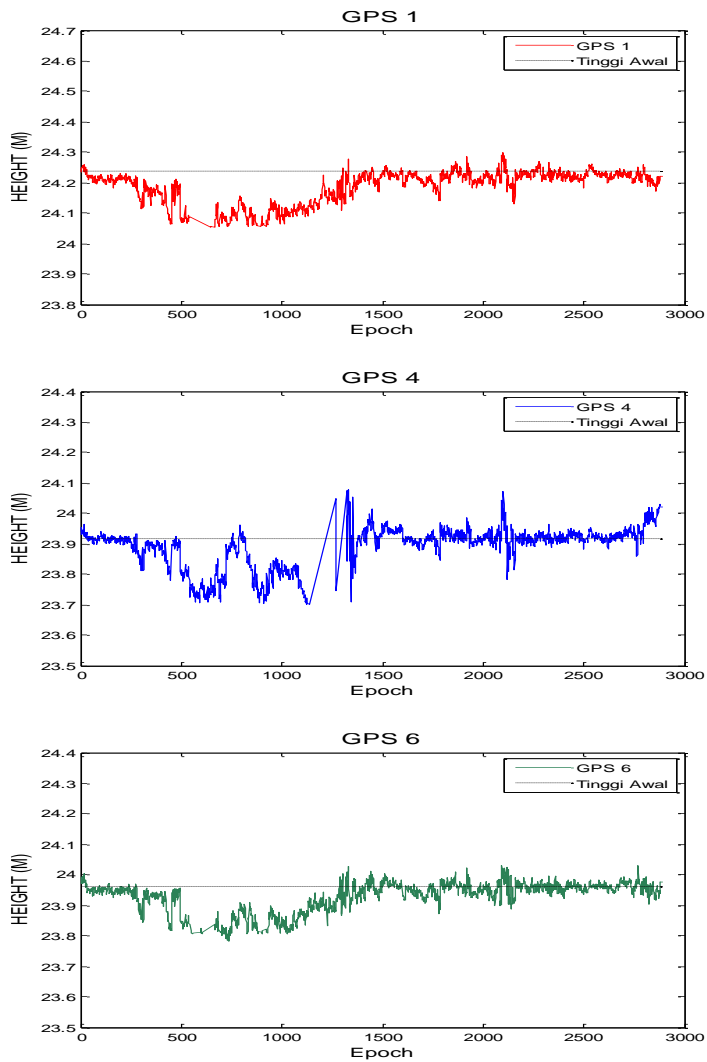


Hasil Pengolahan Data *GPS* 17 Juli 2015

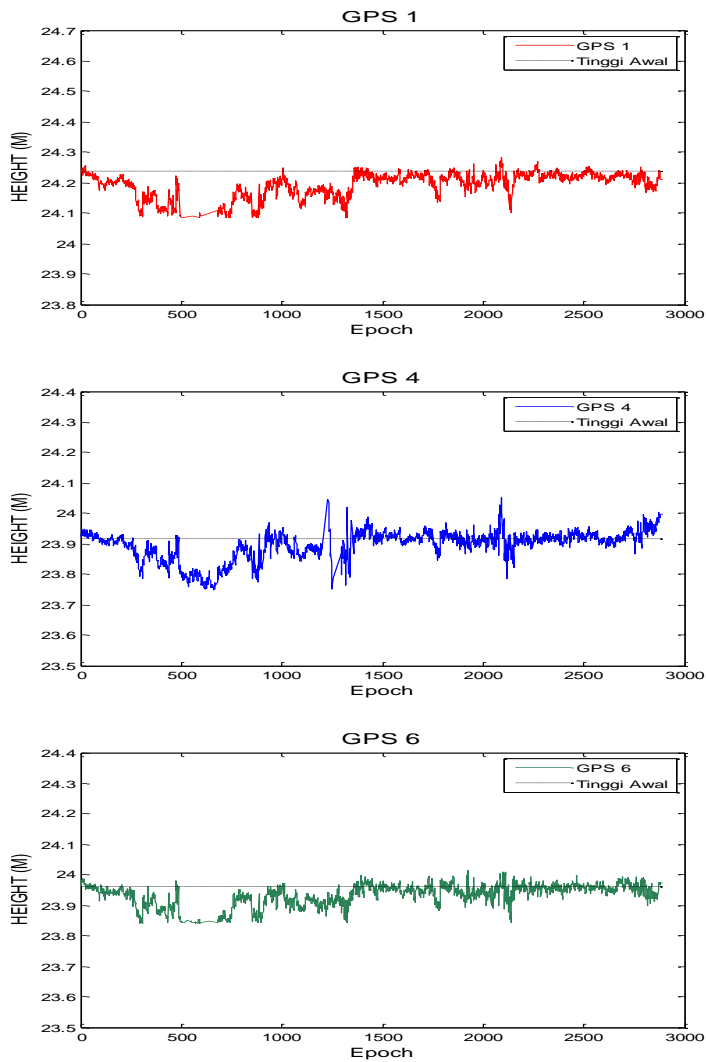
Hasil Pengolahan Data *GPS* 18 Juli 2015



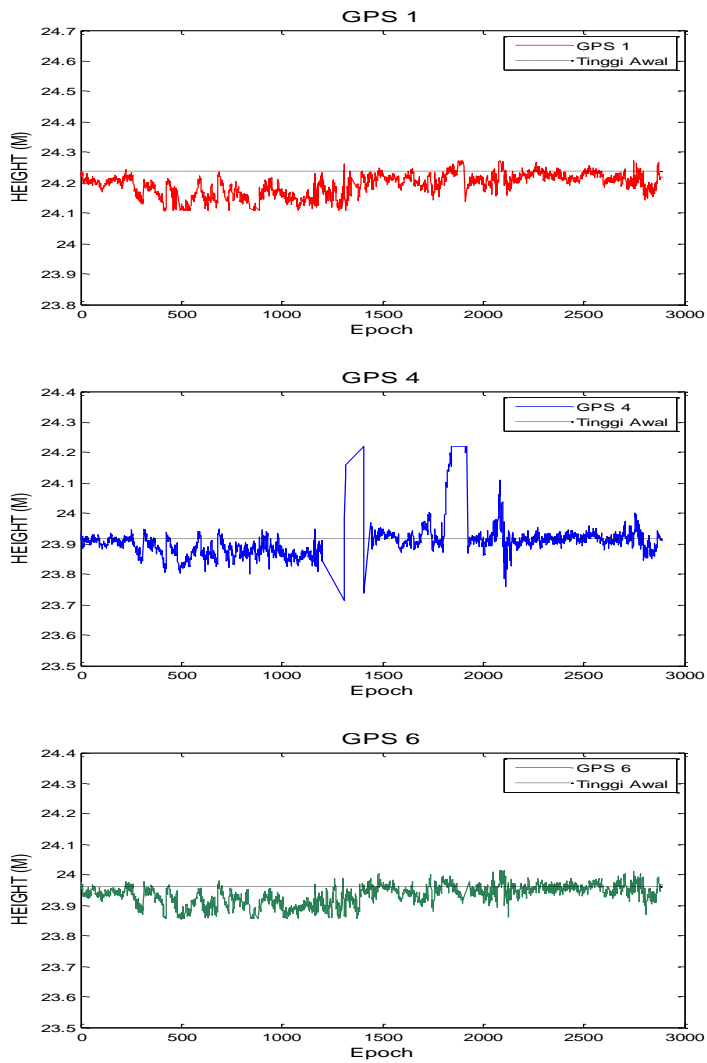
Hasil Pengolahan Data *GPS* 19 Juli 2015



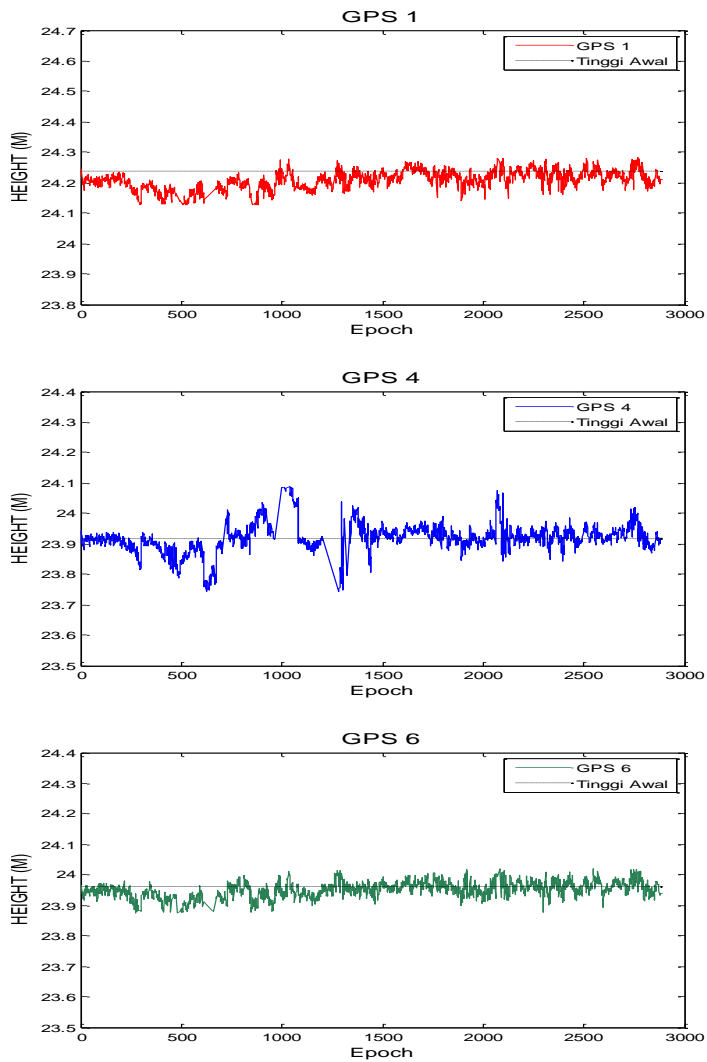
Hasil Pengolahan Data *GPS* 20 Juli 2015



Hasil Pengolahan Data *GPS* 21 Juli 2015

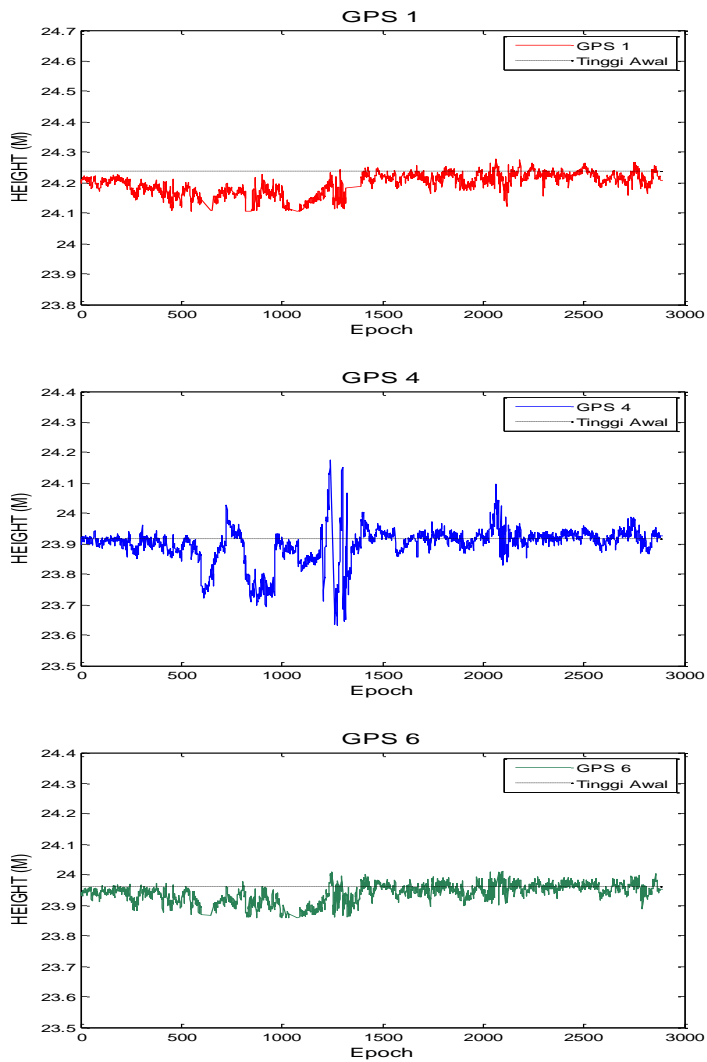


Hasil Pengolahan Data *GPS* 22 Juli 2015

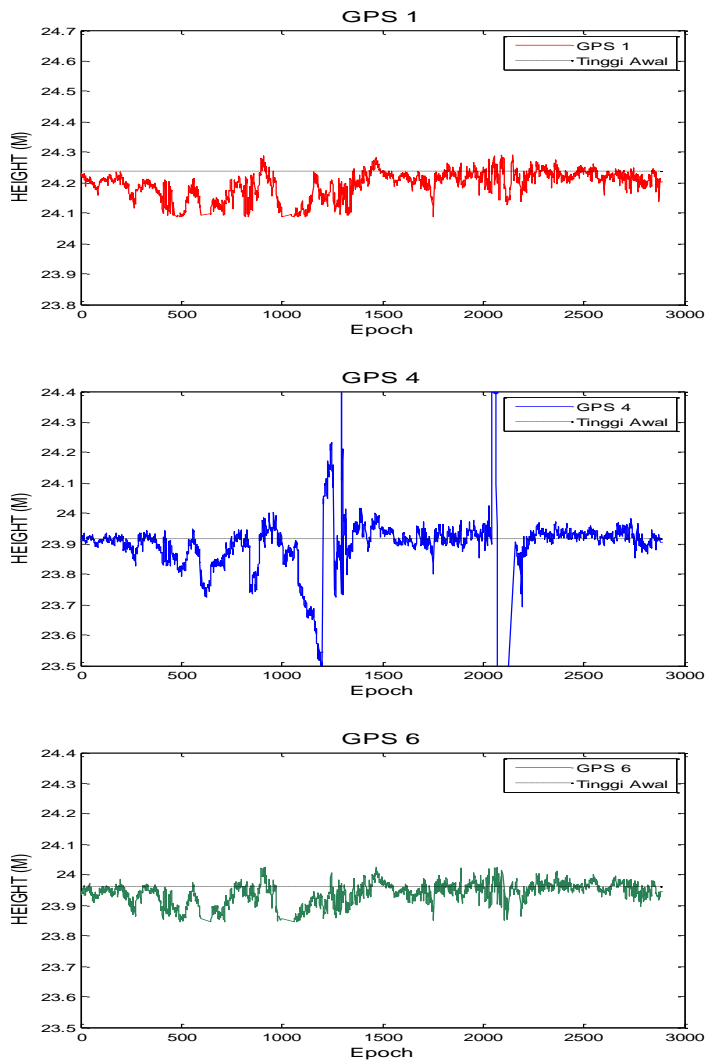


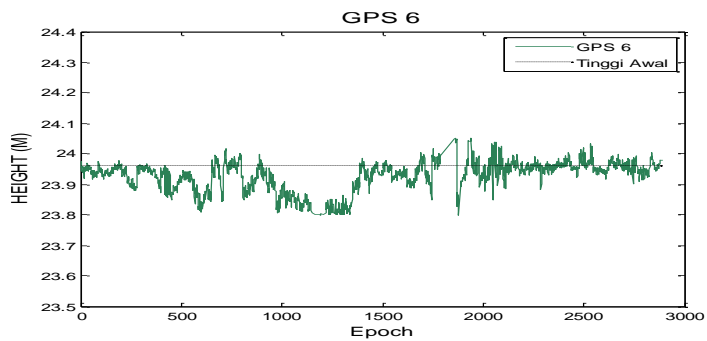
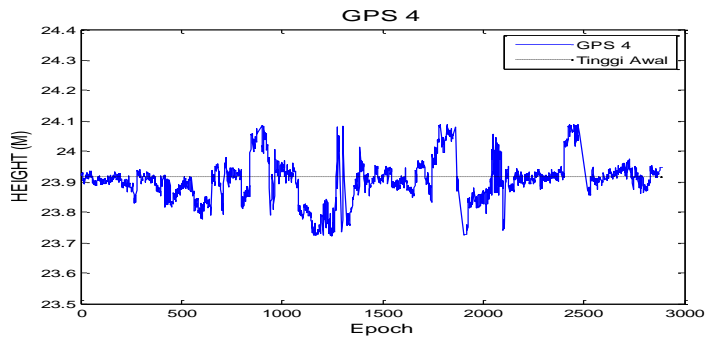
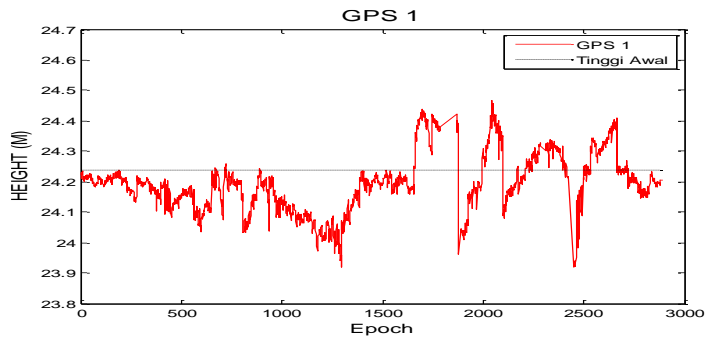


Hasil Pengolahan Data *GPS* 23 Juli 2015

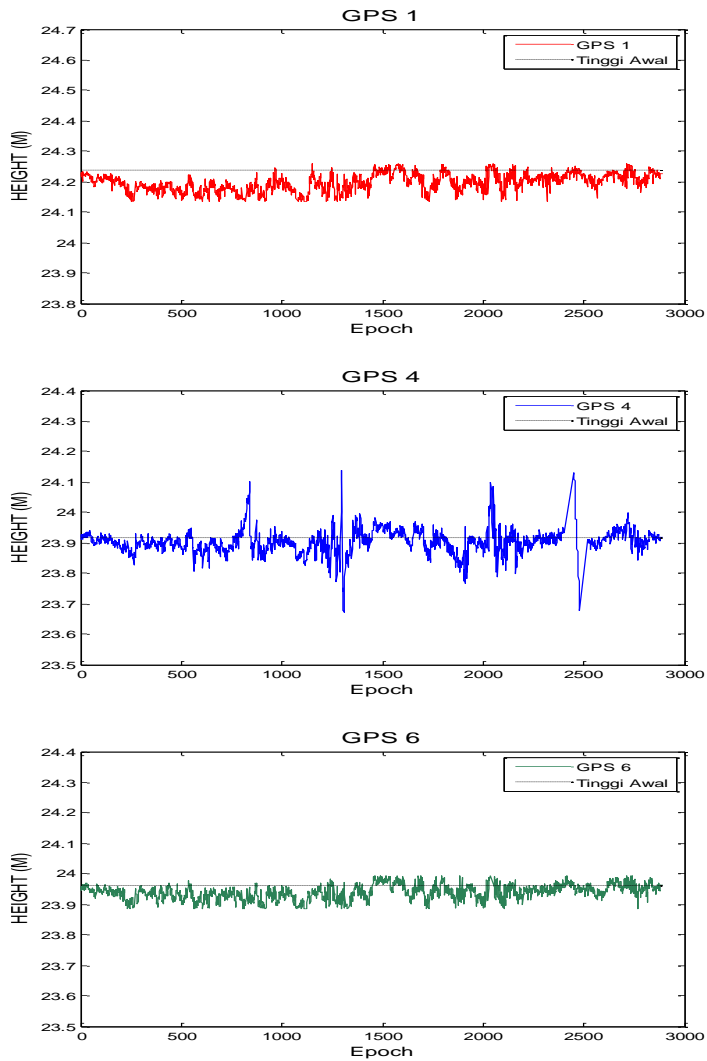


Hasil Pengolahan Data *GPS* 24 Juli 2015

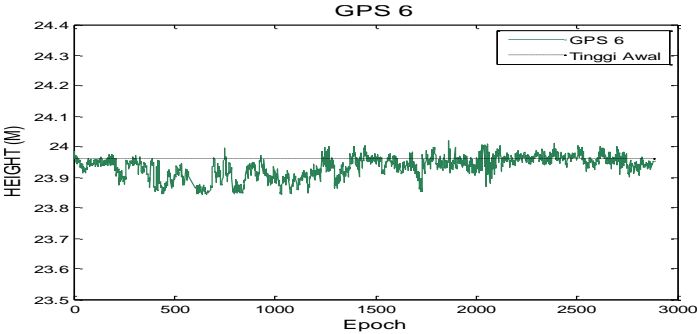
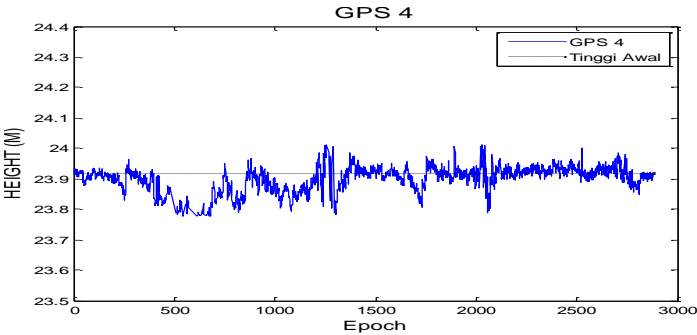
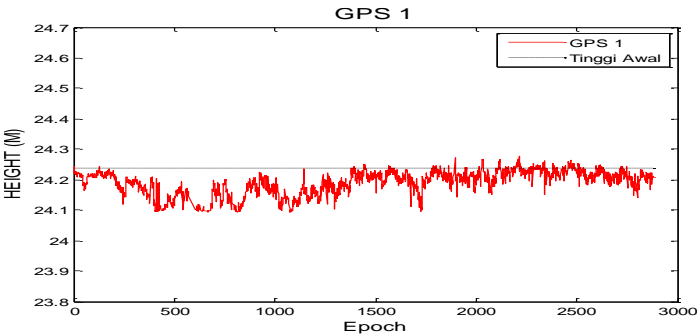


Hasil Pengolahan Data *GPS* 25 Juli 2015

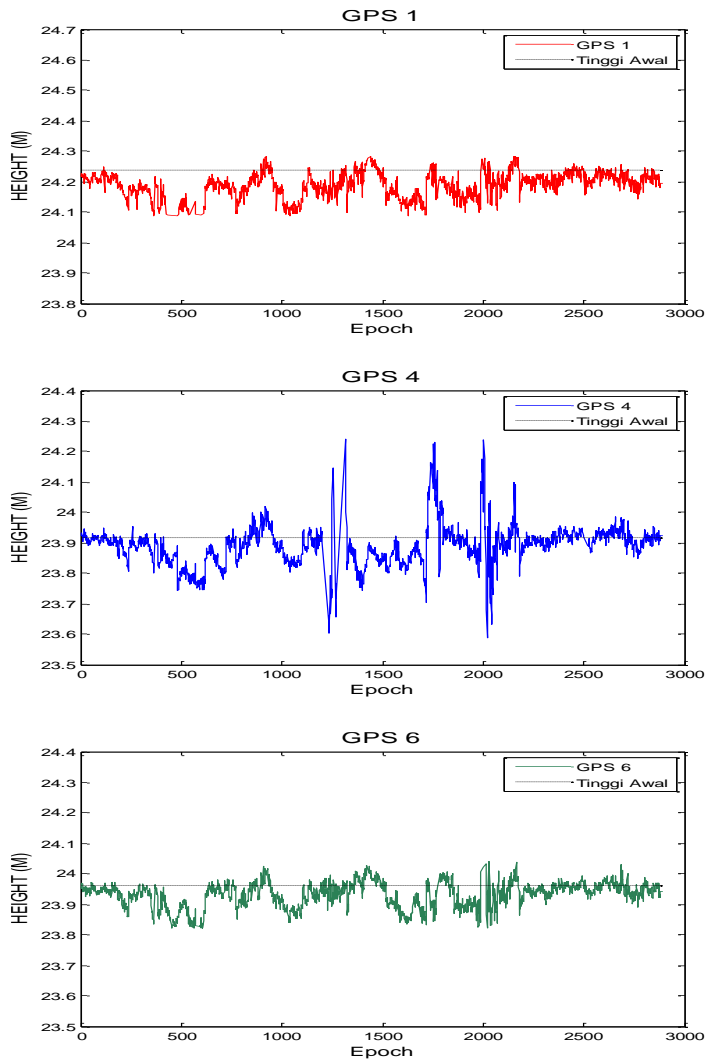
Hasil Pengolahan Data *GPS* 26 Juli 2015



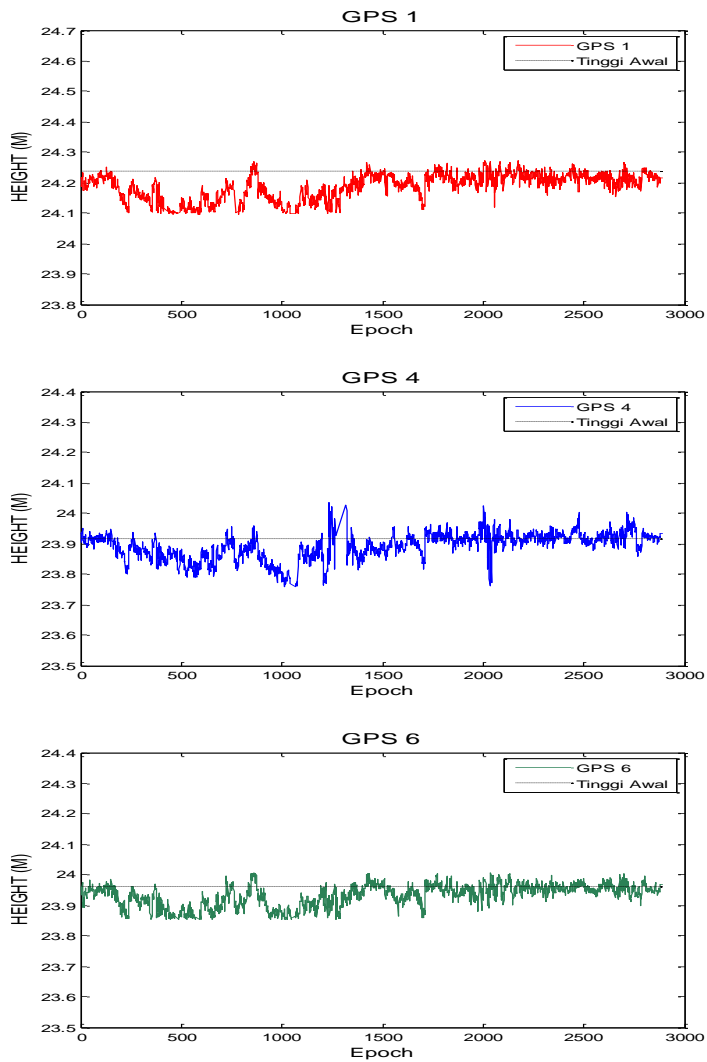
Hasil Pengolahan Data *GPS* 27 Juli 2015



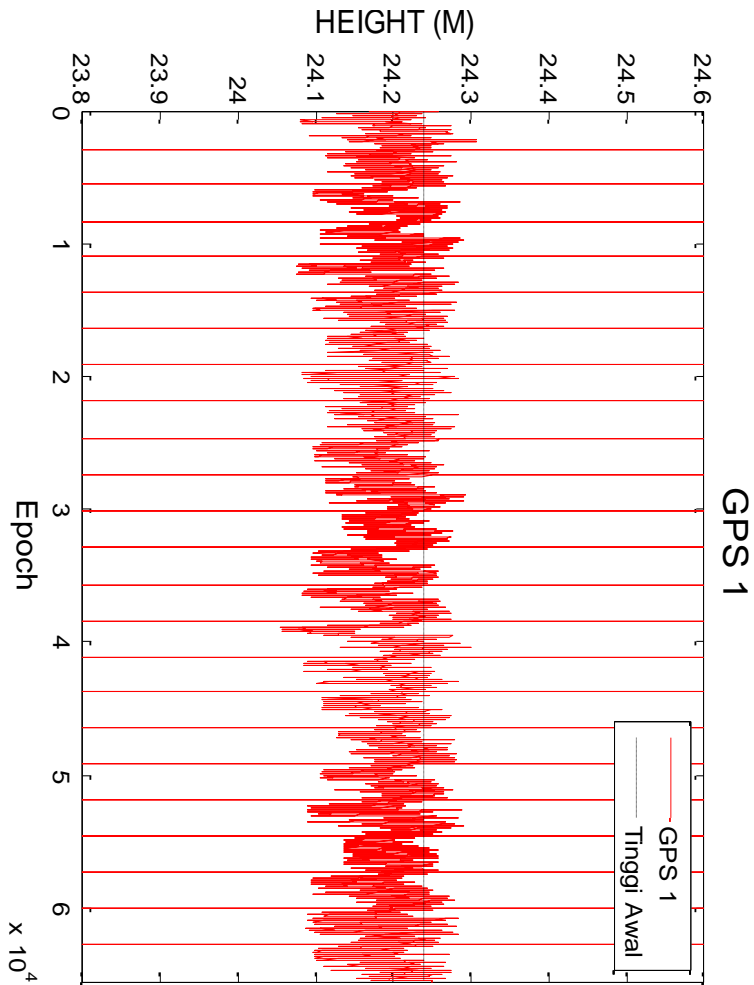
Hasil Pengolahan Data *GPS* 29 Juli 2015



Hasil Pengolahan Data *GPS* 30 Juli 2015

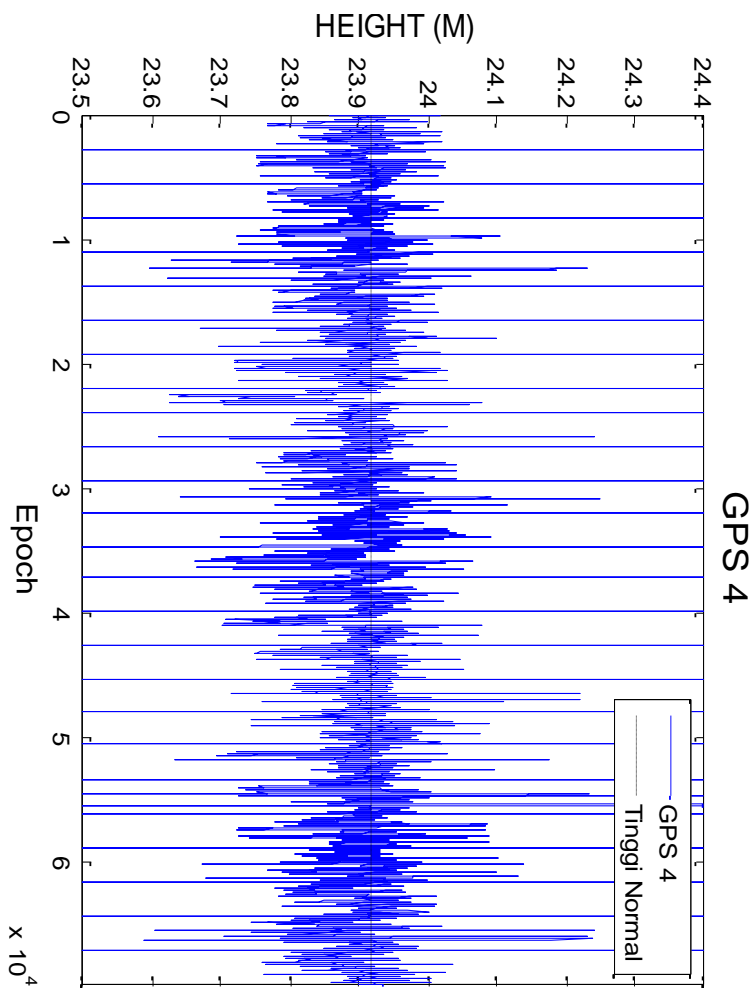


Hasil Pengolahan Data GPS 1 Tanggal 1-31 Juli 2015

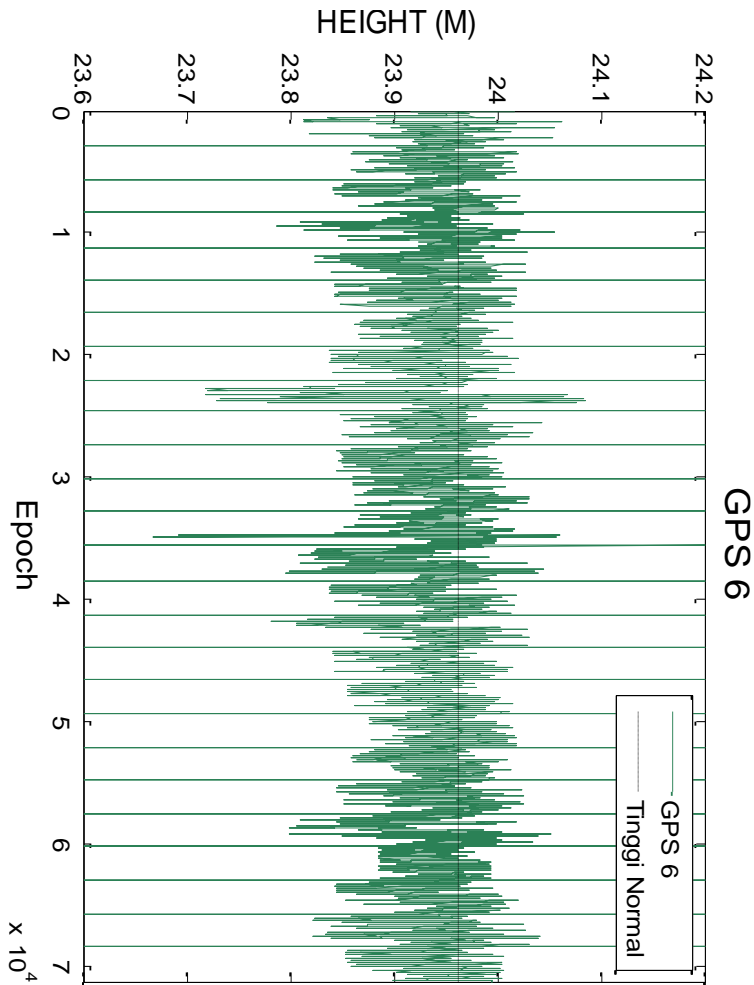




Hasil Pengolahan Data GPS 4 Tanggal 1-31 Juli 2015



Hasil Pengolahan Data GPS 6 Tanggal 1-31 Juli 2015



## DAFTAR LAMPIRAN

|  |    |
|--|----|
| Lampiran 1 Surat Permohonan Data .....                                       | 83 |
| Lampiran 2 Surat Balasan Permohonan Data .....                               | 84 |
| Lampiran 3 Hasil Pengolahan Pengikatan Koordinat Suramadu<br>.....           | 85 |
| Lampiran 4 Hasil Pengolahan Koordinat Permukaan Netral<br><i>Rover</i> ..... | 87 |
| Lampiran 5 Hasil Pengolahan <i>GPS</i> Metode Kinematik .....                | 91 |

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

- a. Defleksi maksimal pada *GPS* 1 adalah 0.2296 m ke arah atas dan 0.3184 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal.
- b. Defleksi maksimal pada *GPS* 4 adalah 0.3315 m ke arah atas dan 0.3296 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal.
- c. Defleksi maksimal pada *GPS* 6 adalah 0.1229 m ke arah atas dan 0.2949 m ke arah bawah dari tinggi permukaan awal .
- d. Pada penelitian ini didapatkan bahwa nilai defleksi vertikal hasil pengukuran *GPS* 1, 4, dan 6 Jembatan Suramadu pada tanggal 1-31 Juli 2015 masih dalam toleransi defleksi vertikal yang diizinkan pada Jembatan Suramadu yaitu kurang dari 1.085 m.
- e. Korelasi beban kendaraan yang melintasi Jembatan Suramadu terhadap nilai defleksi vertikal pada pukul 05.00 – 09.00 BBWI pada *GPS* 4 adalah -0.189 dan *GPS* 6 adalah sebesar -0.121 yang dikategorikan dengan korelasi sangat lemah.
- f. Dari penelitian terdahulu dengan judul “Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh *Traffic Load*” (Maris, 2011) didapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu selama bulan Januari – Mei 2011 adalah 56.891 cm ke arah atas dan 41.915 cm ke arah bawah dari posisi rata-ratanya. Penelitian selanjutnya dengan judul “Studi Pergeseran Sementara (Defleksi Vertikal) Jembatan Suramadu” (Rezki, 2014) didapatkan nilai defleksi vertikal Jembatan Suramadu pada 7 April 2014 adalah sebesar 0.978 m pada *GPS* 1 dan 0.101 pada *GPS* 2 serta pada tanggal 19 Maret 2014 adalah sebesar 0.080 m pada *GPS* 1 dan 0.280 pada *GPS* 2.
- g. Mengacu pada penelitian terdahulu, maka defleksi vertikal jangka pendek pada bagian bentang tengah Jembatan

Suramadu masih dalam toleransi defleksi vertikal yang diizinkan pada bagian bentang tengah Jembatan Suramadu yaitu kurang dari 1.085 m

## **5.2 Saran**

- a. Pengaturan interval perekaman data sebaiknya diatur 10-20 Hz karena spesifikasi *receiver GPS* yang dipakai dapat mencapai frekuensi 20 Hz bahkan dapat mencapai 60 Hz. Karena *GPS* tidak hanya dapat memberikan besarnya nilai defleksi pada jembatan tapi juga dapat memberikan frekuensi dari pergerakan jembatan itu sendiri terlebih Jembatan Suramadu adalah struktur yang dinamis untuk melendut akibat adanya *traffic load* dan juga faktor alam seperti angin, suhu, dan arus laut. Namun konsekuensinya adalah memori penyimpanan data yang disiapkan akan menjadi jauh lebih besar.
- b. Posisi letak *base* dipindahkan dikarenakan dekat dengan pohon dan terhalang gedung kantor. Mengingat fungsinya sebagai titik ikat maka peletakan *base* harus meminimalisir adanya *multipath* karena pengukuran *GPS* sangat tergantung dari lingkungan sekitar.
- c. Posisi letak *antenna rover GPS* disebelah pagar pembatas letaknya ditinggikan melebihi pagar pembatas itu sendiri untuk meminimalisir adanya *multipath* sehingga kualitas data yang dihasilkan semakin baik.
- d. Untuk penelitian yang selanjutnya ditambahkan data *traffic load* serta beban muatannya dan data angin untuk mengetahui korelasinya terhadap defleksi vertikal yang terjadi pada Jembatan Suramadu.
- e. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi tolok ukur untuk penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2001). *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2002). *Survei dengan GPS*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction To GPS The Global Positioning System*. Boston: Artech House. Boston: Artech House.
- Gefos-Leica. (2016, Maret 20). *GRX 1200 Brochure*. Retrieved from Gefos-Leica: [http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Prospekty/Referencni\\_stanice/GRX1200/GRX1200\\_brochure.pdf](http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Prospekty/Referencni_stanice/GRX1200/GRX1200_brochure.pdf)
- GPS.GOV. (2016, 3 25). *Space Segment*. Retrieved from Official U.S. Government information about the GPS: <http://www.GPS.gov/systems/GPS/space/>
- Herring, T. e. (2015). *Introduction of GAMIT/GLOBK*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Hidayat, I. (2011). *Analisis Konstruksi Jembatan Cable Stayed Menggunakan Metode Kantilever (Studi Kasus Jembatan Suramadu)*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Hutomo, P. (2010). *Studi Tentang GPS CORS (Continuously Operating Reference Station) Studi Kasus CORS GPS-ITS*. Surabaya: ITS.
- Kaloop, M. R., & Li, H. (2009). Monitoring of Bridge Deformation Using GPS Technique. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 423-431.
- Leica-Geosystems. (2016, Februari 8). *GPS 1200 Technical Data*. Retrieved from [http://www.leica-geosystems.us/downloads123/zz/GPS/general/brochures-datasheet/GPS1200\\_TechnicalData\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.us/downloads123/zz/GPS/general/brochures-datasheet/GPS1200_TechnicalData_en.pdf)

- Maris, E. T. (2011). Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh Traffic Load. *Geodesy*.
- Meng, X. (2002). *Real-Time Deformation Monitoring of Bridges Using GPS/Accelerometers*. England: The University of Nottingham.
- Nababan, P. (2008). *Structural Health Monitoring System Alat Bantu Mempertahankan Usia Teknis Jembatan*. Surabaya: BBPJJN.
- Rahadi, M. E. (2013). *Kelitian Pengukuran Baseline Panjang GNSS dengan Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.4 dan Topcon Tools V.7*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Rezki, R. (2014). *Studi Pergeseran Sementara (Defleksi Vertikal) Jembatan Suramadu*. Surabaya: Institut Teknoogi Sepuluh Nopember.
- Wellenhof, B. e. (1992). *GPS Theory and Practice*. Austria: SpringerWienNewyork.
- Sudjana. (2002). *Metode Statistika*. Bandung: Trasito.

## BIODATA PENULIS



I Dewa Gede Putra Wirawan. Penulis lahir di Magelang, Februari 1994. Anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya antara lain di SDN Pongangan 1 , SMPN 1 Gresik, dan SMAN 1 Gresik. Selepas tamat SMA tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS dengan NRP 3512 100 089 melalui program SBMPTN. Penulis mengambil penelitian tugas akhir di bidang

keahlian ilmu Geodesi dengan judul “Analisis Defleksi Vertikal Jembatan Suramadu Menggunakan *GPS CORS*”. Penulis aktif dalam keanggotaan organisasi Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS (*HIMAGE-ITS*) antara lain menjadi Staff Divisi Minat dan Bakat (2013-2014), dan menjadi Kabiro Kegiatan Departemen Hubungan Luar (2014-2015). Penulis juga pernah terlibat dalam beberapa pekerjaan terkait pengukuran dan pemetaan antara lain pengukuran *GPS* untuk penelitian penurunan permukaan tanah akibat semburan lumpur Sidoarjo (2016). Selain itu penulis juga pernah terlibat sebagai tim pengukuran garis pantai untuk pembuatan peta LPI Sulawesi Selatan (2015).